

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日            2 0 0 3 年    7 月 1 5 日  
Date of Application:

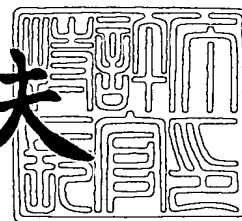
出 願 番 号            特 願 2 0 0 3 - 1 9 6 8 5 9  
Application Number:  
[ST. 10/C] :            [ J P 2 0 0 3 - 1 9 6 8 5 9 ]

出    願    人            株 式 会 社 日 立 製 作 所  
Applicant(s):

2 0 0 3 年    8 月 1 5 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今 井 康 夫



出証番号    出証特 2 0 0 3 - 3 0 6 6 5 6 4

【書類名】 特許願

【整理番号】 H03008431A

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G11B 5/31

【発明者】

【住所又は居所】 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目 2 8 0 番地 株式会社日立製作所中央研究所内

【氏名】 川戸 良昭

【発明者】

【住所又は居所】 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目 2 8 0 番地 株式会社日立製作所中央研究所内

【氏名】 中本 一広

【発明者】

【住所又は居所】 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目 2 8 0 番地 株式会社日立製作所中央研究所内

【氏名】 星屋 裕之

【発明者】

【住所又は居所】 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目 2 8 0 番地 株式会社日立製作所中央研究所内

【氏名】 岡田 泰行

【発明者】

【住所又は居所】 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目 2 8 0 番地 株式会社日立製作所中央研究所内

【氏名】 望月 正文

【特許出願人】

【識別番号】 000005108

【氏名又は名称】 株式会社 日立製作所

**【代理人】****【識別番号】** 100075096**【弁理士】****【氏名又は名称】** 作田 康夫**【電話番号】** 03-3212-1111**【先の出願に基づく優先権主張】****【出願番号】** 特願2003- 12988**【出願日】** 平成15年 1月22日**【手数料の表示】****【予納台帳番号】** 013088**【納付金額】** 21,000円**【提出物件の目録】****【物件名】** 明細書 1**【物件名】** 図面 1**【物件名】** 要約書 1**【包括委任状番号】** 9902691**【プルーフの要否】** 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 垂直記録用薄膜磁気ヘッド及びその製造方法、ならびにこれを用いた磁気ディスク装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

主磁極と、前記主磁極に磁束を供給するためのリターンパスと、前記主磁極及び前記リターンパスを励磁するための導体コイルとを備える記録ヘッドを有する垂直磁気記録用薄膜磁気ヘッドにおいて、

前記主磁極の磁極幅は 2 0 0 n m 以下であり、

前記主磁極は、高飽和磁束密度層と低飽和磁束密度層との磁性多層膜を有し、

前記高飽和磁束密度層は、F e - C o 合金を含有し、

前記磁性多層膜では、前記低飽和磁束密度層を介して対向する一対の前記高飽和磁束密度層の磁化の向きが反平行配列をしていることを特徴とする垂直記録用薄膜磁気ヘッド。

【請求項 2】

主磁極と、前記主磁極に磁束を供給するためのリターンパスと、前記主磁極及び前記リターンパスを励磁するための導体コイルとを備える記録ヘッドを有する垂直磁気記録用薄膜磁気ヘッドにおいて、

前記主磁極の磁極幅は 2 0 0 n m 以下であり、

前記主磁極は、高飽和磁束密度層と低飽和磁束密度層との磁性多層膜を有し、

前記低飽和磁束密度層の厚みが、0 . 5 n m 以上、5 n m 以下の範囲であり、

前記高飽和磁束密度層の厚さが、1 0 n m 以上 5 0 n m 以下であることを特徴とする垂直記録用薄膜磁気ヘッド。

【請求項 3】

前記高飽和磁束密度層の厚さが、1 0 n m 以上 2 0 n m 以下であることを特徴とする、請求項 2 記載の垂直記録用薄膜磁気ヘッド。

【請求項 4】

前記高飽和磁束密度層は、F e - C o 合金を含有することを特徴とする請求項 2 記載の垂直記録用薄膜磁気ヘッド。

**【請求項 5】**

前記高飽和磁束密度層が強磁性体層であり、前記低飽和磁束密度層が非磁性層であることを特徴とする請求項 1 及び 2 記載の垂直記録用薄膜磁気ヘッド。  
記載の垂直記録用薄膜磁気ヘッド。

**【請求項 6】**

前記磁性多層膜に含まれる前記高飽和磁束密度層の層数は、4 層以上であることを特徴とする請求項 1 及び 2 記載の垂直記録用薄膜磁気ヘッド。

**【請求項 7】**

前記磁性多層膜に含まれる前記高飽和磁束密度層の層数は、10 層以上であることを特徴とする請求項 1 及び 2 記載の垂直記録用薄膜磁気ヘッド。

**【請求項 8】**

前記磁性多層膜は、前記主磁極の媒体対向面に対して垂直な平面に平行な方向に積層されていることを特徴とする請求項 1 及び 2 に記載の垂直記録用薄膜磁気ヘッド。

**【請求項 9】**

前記高飽和磁束密度層は、一般式  $(\text{Fe}_{70-x}\text{Co}_{30+x})_{100-y}\text{M}_y$  (但し  $0 \leq x \leq 20$ 、 $0 \leq y \leq 15$ 、M は、Ni, B, Ti, Nb, Al, Al-O, Si, Si-O もしくはこれらの組み合わせからなる。) で表される合金を含有することを特徴とする請求項 1 及び 2 記載の垂直記録用薄膜磁気ヘッド。

**【請求項 10】**

前記高飽和磁束密度層の結晶構造は、主に体心立方格子構造を有することを特徴とする請求項 1 及び 2 記載の垂直記録用薄膜磁気ヘッド。

**【請求項 11】**

前記低飽和磁束密度層の結晶構造は、主に面心立方格子構造を有することを特徴とする請求項 1 及び 2 記載の垂直記録用薄膜磁気ヘッド。

**【請求項 12】**

前記低飽和磁束密度層は、Ni-Cr, Ni-Fe, Ni-Fe-Cr 及び Ta のうち少なくとも 1 種以上を含むことを特徴とする請求項 1 及び 2 記載の垂直

記録用薄膜磁気ヘッド。

【請求項 13】

前記磁性多層膜では、前記低飽和磁束密度層を介して向かい合う一対の前記高飽和磁束密度層の膜厚が異なることを特徴とする請求項 1 及び 2 に記載の垂直記録用薄膜磁気ヘッド。

【請求項 14】

前記主磁極の前記高飽和磁束密度層のうち、最も基板から遠い側の層と最も基板に近い側の層の厚さは、それ以外の高飽和磁束密度層よりも薄いことを特徴とする請求項 1 及び 2 に記載の垂直記録用薄膜磁気ヘッド。

【請求項 15】

更に、漏洩磁界の空間分布を抵抗変化ないし電圧変化に変換する磁気抵抗効果型センサを有する再生ヘッドを備えることを特徴とする請求項 1 及び 2 に記載の垂直記録用薄膜磁気ヘッド。

【請求項 16】

前記リターンパスは、前記主磁極に直接磁束を送り込むヨーク部分と、媒体に対向した面を持つ補助磁極の少なくとも 2 つの部分からなり、いずれも前記高飽和磁束密度層より低い飽和磁束密度を持つ強磁性体からなることを特徴とする請求項 1 及び 2 に記載の垂直記録用薄膜磁気ヘッド。

【請求項 17】

主磁極と、前記主磁極に磁束を供給するためのリターンパスと、前記主磁極及び前記リターンパスを励磁するための導体コイルとを備える記録ヘッドを有する垂直磁気記録用薄膜磁気ヘッドの製造方法において、

基板上に、低飽和磁束密度層と Fe-Co 合金を含有する高飽和磁束密度層との磁性多層膜をスパッタリングにより堆積する堆積工程と、

イオンミリングによるエッチング工程を含むことを特徴とする垂直記録用薄膜磁気ヘッドの製造方法。

【請求項 18】

磁気記録媒体と、垂直記録用薄膜磁気ヘッドと、前記垂直記録用薄膜磁気ヘッドを前記磁気記録媒体上で位置決めする機構と、前記垂直記録用薄膜磁気ヘッド

に記録電流および再生電流を流すとともに保存データの符号化および読み出しデータの復号化を行う磁気ディスク装置において、

垂直記録用薄膜磁気ヘッドは、主磁極と前記主磁極に磁束を供給するためのリターンパスと、前記主磁極及び前記リターンパスを励磁するための導体コイルとを備え、前記主磁極の磁極幅は200nm以下であり、前記主磁極は、高飽和磁束密度層と低飽和磁束密度層との磁性多層膜を有し、前記低飽和磁束密度層の厚みが0.5nm以上、5nm以下の範囲であり、前記高飽和磁束密度層の厚さが10nm以上50nm以下であり、

前記磁気記録媒体は、書き込まれたデータを一軸磁気異方性により保持する高保磁力の強磁性体からなる記録層と、前記記録素子との相互作用により記録磁界発生に寄与する低保磁力の磁束キープ層を含むことを特徴とする磁気ディスク装置。

#### 【請求項19】

磁気記録媒体と、垂直記録用薄膜磁気ヘッドと、前記垂直記録用薄膜磁気ヘッドを前記磁気記録媒体上で位置決めする機構と、前記垂直記録用薄膜磁気ヘッドに記録電流および再生電流を流すとともに保存データの符号化および読み出しデータの復号化を行う磁気ディスク装置において、

垂直記録用薄膜磁気ヘッドは、主磁極と前記主磁極に磁束を供給するためのリターンパスと、前記主磁極及び前記リターンパスを励磁するための導体コイルとを備え、前記主磁極の磁極幅は200nm以下であり、前記主磁極は、高飽和磁束密度層と低飽和磁束密度層との磁性多層膜を有し、前記高飽和磁束密度層は、Fe-Co合金を含有し、前記磁性多層膜では、前記低飽和磁束密度層を介して対向する一対の前記高飽和磁束密度層の磁化の向きが反平行配列をし、

前記磁気記録媒体は、書き込まれたデータを一軸磁気異方性により保持する高保磁力の強磁性体からなる記録層と、前記記録素子との相互作用により記録磁界発生に寄与する低保磁力の磁束キープ層を含むことを特徴とする磁気ディスク装置。

#### 【請求項20】

前記薄膜磁気ヘッドの前記高飽和磁束密度層の膜厚中心の間隔は、記録再生動

作時の前記主磁極と前記キーパ層表面との距離の2倍より小さいことを特徴とする請求項18及び19記載の磁気ディスク装置。

【請求項21】

前記磁気記録媒体の前記磁束キーパ層は、高飽和磁束密度層と低飽和磁束密度層との磁性多層膜または強磁性層と非磁性層との磁性多層膜または強磁性層と反強磁性層との磁性多層膜からなることを特徴とする請求項18及び19記載の磁気ディスク装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、高密度磁気記録に対応した狭トラックの場合でも高い記録磁界を発生することができ、なおかつ安定に動作する高信頼の垂直記録用薄膜磁気ヘッド及びその製造方法、ならびにこれを用いた磁気ディスク装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

情報処理技術の発達に伴い、様々なメディアのデジタル化が急速に進行している。従来からのパーソナルコンピュータやサーバに加え、家電・オーディオ等においても大量のデジタル情報を貯える必要性が生じており、不揮発性ファイルシステムの中核となる磁気ディスク装置はこれまでも増して急速な大容量化を求められている。磁気ディスク装置の大容量化とはすなわち、媒体上に記録するビット密度すなわち面記録密度をより高めることを意味する。

【0003】

現在実用化されている磁気ディスク装置における記録方式は一般に面内記録方式と呼ばれる。これは、ディスク基板面と平行な方向に大きな保磁力を持つ強磁性膜を記録媒体とし、この記録媒体を基板面内方向に磁化することで情報を記録する方式である。この場合、面内磁化が180度の角度をなして向き合っている磁化反転部がビットの1に対応する。

【0004】

面記録密度を高めるには、ディスク円周方向のビット密度（線記録密度）及び



ディスク半径方向のビット密度（トラック密度）を同時に増やす必要がある。トラック密度は記録/再生ヘッドの磁極幅形成プロセスや機構系の位置決め精度によって制限されるが、これらは主として技術的な課題にすぎない。これに対し線記録密度の増大は記録媒体が強磁性体微粒子の集合体であるという事実により原理的な制約を受けると考えられている。

#### 【0005】

面内記録方式においては磁化反転を中心にして磁化どうしが向き合っているため、この磁化反転周辺では磁化を減少させる方向に反磁界と呼ばれる大きな内部磁界を生じる。この反磁界によって磁化反転部には有限の幅を持った遷移領域すなわち磁化が十分な値に達していない領域が形成される。

#### 【0006】

ビット間隔を狭めて行った時隣り合う磁化遷移領域が干渉すると、実質的な磁化反転の位置がシフトする等の不都合が起きる。このため磁化遷移領域の幅は少なくともビット間隔より小さくする必要がある。従って線記録密度を高めるには媒体が反磁界に打ち勝って磁化するような構成、具体的には媒体の保磁力を向上するとともに記録磁性膜の厚さを低減して反磁界を抑制することが必要である。このため線記録密度は媒体の構成や磁気特性によって強く制限されることになる。

#### 【0007】

標準的な面内記録方式では、線記録密度とトラック密度の比は約5～10程度とすることが望ましいとされている。この条件のもとに100Gb/in<sup>2</sup>（一平方インチあたり1011ビット）の記録密度を実現する場合、円周方向のビット間隔は約25nmになる。一方、簡単なモデルにより磁化反転幅が25nm以下になる媒体の必要特性を見積もると、媒体膜厚15nm以下、保磁力5kOe（エルステッド）以上が必要条件となる。

#### 【0008】

しかしながら、面内記録方式の記録素子が発生させることのできる記録磁界は、使用可能な磁極材料に望める最大の飽和磁束密度（以下Bs）である2.4T（テスラ）を前提としても高々9kOe程度が限度と考えられている。このばあ

い媒体記録層の保磁力が5 kOeを超えると、媒体を十分に磁化することができ  
るだけの記録磁界の確保が困難になる。またCo合金系磁性膜では磁性膜の厚さ  
が15 nm以下になると、実質的な媒体結晶粒子の体積が小さくなるため、個々  
の粒子の磁気異方性エネルギー（即ち、磁化を一定方向に安定化しようとするエ  
ネルギー）に比べて熱エネルギー（即ち、磁化を擾乱するエネルギー）の大き  
さが無視できなくなる。このため磁化の熱揺らぎが顕著となり、記録磁化の大き  
さが時間の経過につれて減少する熱減磁の問題が発生する。熱減磁を抑制するた  
めには保磁力を更に増大させるか結晶粒の体積を増大させる必要がある。

#### 【0009】

しかしながら、先述のようにヘッド磁界が制限されているばあい、許容しうる  
保磁力には上限がある。また、結晶粒の体積増大のために膜厚を増やすことは反  
磁界の増加による磁化遷移領域の増大即ち可能な線記録密度の低下を意味する。  
一方、結晶粒体積を面内方向の結晶サイズで確保しようとする、媒体内磁化分  
布のランダムネスが大きくなるため、媒体ノイズの増大をまねき十分な信号S/  
N比が得られなくなる。このように熱減磁耐性、低ノイズ、十分な記録という条  
件を満足しつつ面記録密度100 Gb/in<sup>2</sup>を超える面内記録を実現するため  
には原理的な困難が予想される。

#### 【0010】

この原理的な困難を回避するために提案されたのが、垂直記録方式である。垂直  
記録方式は薄膜媒体の磁化を膜面に垂直に形成する方式で、記録原理が従来の面  
内磁気記録媒体の場合とは異なる。垂直磁気記録方式は隣接する磁化が向き合わ  
ずに逆平行配列となるために反磁界の影響を受けない。そのため磁化遷移領域を  
非常に狭くできることが期待され、線記録密度を高めやすい。また同じ理由から  
媒体薄膜化への要求が面内記録ほど強くないため熱減磁に対しても高い耐性を確  
保できる。

#### 【0011】

このように垂直磁気記録方式は本質的に高密度磁気記録に適した方式として注  
目され、様々な媒体の材料・構造およびそれらと組み合わせた薄膜磁気ヘッドの  
構成が提案されている。垂直記録方式には単層の垂直磁化膜を用いる方式と、垂

直磁化膜のディスク基板側に隣接して低保磁力の磁束キープ層を設ける方式がある。

#### 【0012】

磁束キープ層を持つ2層垂直磁気記録媒体を用いると、(1)記録層内に発生する反磁界を低減できる(2)単磁極型の記録素子との組み合わせで、面内記録において用いるリングヘッドにくらべてより急峻な分布をもつ大きな記録磁界を発生させることが可能になる、といった利点が考えられる。この技術に関しては、例えば非特許文献1に記述されている。

#### 【0013】

この方式の垂直磁気記録媒体としては、パーマロイやFe系アモルファス合金ないし微細結晶合金などの軟磁性層からなる磁束キープ層上にCoCr合金からなる垂直磁化膜を設けた媒体などが検討されている。更に近年は、記録層としてCo/PdやCo/Ptなどのいわゆる人口格子膜やSiO<sub>2</sub>中にCo系磁性体微粒子を分散させたいわゆるグラニューラ媒体が検討されており、キープ層としては反強磁性体を用いることで磁区を安定化した積層膜あるいは強磁性層どうしを反強磁性的に結合させた磁性多層膜なども用いられている。

#### 【0014】

磁束キープ層を有する垂直記録用媒体を用いた垂直記録において用いられる記録素子の形態は一般に単磁極型記録素子と呼ばれる。これは、面内記録におけるいわゆるリング型記録素子のように2つの磁極が非常に薄いギャップ層を介して向かい合うという構成ではなく、図1のように1つの磁極(主磁極)13が媒体に向かって突き出している構造が特徴である。但し磁路を形成するため、コイル17を間に挟むような配置で副磁極16と呼ばれる磁極が設けられている。

#### 【0015】

この副磁極16の存在によって主磁極13→磁束キープ層19→副磁極16→ヨーク14, 15→主磁極13という磁路が構成され、最適な効率で記録動作を行う事が出来ることが特徴である。主磁極13とキープ層19の間を流れる磁束は記録層18を横切るような配置となっているためこの磁束の流れが記録磁界を作り、記録層18中に記録ビット20が形成される。

## 【0016】

このような、単磁極型の記録素子と磁束キープ層との相互作用を利用した垂直記録に特有の深刻な問題のひとつとして、主磁極の残留磁化の問題がある。これは非特許文献2において指摘された現象である。

## 【0017】

この現象は“erase-after-write”（記録後消去）とよばれ、記録動作直後の残留磁化による直流磁界によって媒体上の信号が消去される様子が開示されている。実際の磁気ディスク装置中において、ヘッドはディスク上を絶えず移動している。そのため記録動作でこのような現象が起きてしまうと、ディスク上の非常に広範囲にわたりデータやサーボ情報を消去してしまう恐れがある。

## 【0018】

このことは磁気記録再生システムの信頼性という観点で致命的な欠点と考えられている。本現象を回避する手段として特許文献1に、ヨークの形状を最適化する方法が開示されている。この方法によれば、ヨーク部分に生じる残留磁化によって記録後消去が発生することは回避できる。

## 【0019】

しかしながら、ヨーク部分は寸法・形状の自由度が比較的高いのに対して、狭い記録トラック幅を規定する磁極先端部分は記録密度の増大に応じて小型化しなければならないため、全く異なる手段で残留磁化を抑制する必要がある。そのような手段の一つとして、垂直記録用の薄膜磁気ヘッドの主磁極材のように1ミクロン以下の薄い膜において磁性多層膜を用いる方法が知られている。

## 【0020】

特許文献2には、垂直記録用単磁極ヘッドの主磁極に多層膜を用いる構成が開示されている。また特許文献3、特許文献4、特許文献5には、磁性多層膜における磁区を安定化するのに最適な材料と層構成が開示されている。しかしながら、これらはいずれも磁性膜の単磁区化による安定化を目的としており、後述するような磁極が狭小となることからくる単磁区化により引き起こされる記録後消去を防止する手段としては不適當ないし不充分である。更に特許文献6にも、多層膜からなる磁性層を用いた薄膜磁気ヘッドの例が開示されている。しかしながら

これは面内記録に用いられるリング型薄膜磁気ヘッドにおいて見られる、再生動作時の磁区構造変化に伴うノイズを抑制するため磁区を固定する技術を開示したものである。従って記録時の磁極先端部の残留磁化を抑制する手段とは構成も異なり不適當であることは明らかである。

#### 【 0 0 2 1 】

また、上記開示ではNi-Fe、Fe-Ni合金、Feのように比較的良好な軟磁気特性が得られる材料を前提としており、将来の狭トラック化に向けて必要となるFe-Co合金のような、2.2Tを超える高Bsの材料との組み合わせとしては不適當と考えられる。

#### 【 0 0 2 2 】

##### 【特許文献1】

特開 2 0 0 1 - 2 9 1 2 1 2 号公報

##### 【特許文献2】

特開 2 0 0 2 - 3 2 4 3 0 3 号公報

##### 【特許文献3】

特開平 5 - 5 4 3 2 0 号公報

##### 【特許文献4】

特開平 6 - 1 9 5 6 3 6 号公報

##### 【特許文献5】

特開平 7 - 1 3 5 1 1 1 号公報

##### 【特許文献6】

特開平 3 - 4 9 0 0 8 号公報

##### 【非特許文献1】

IEEE Transactions on Magnetism, Vol. MAG-20, No.5, September 1984, pp. 657-662, "Perpendicular Magnetic Recording-Evolution and Future";

##### 【非特許文献2】

IEEE Transactions on Magnetism, Vol. MAG-32, No.1, January 1996, pp.97-102, "Challenges in the Practical Implementation of Perpendicular

Magnetic Recording

【非特許文献 3】

The 198<sup>th</sup>. Meeting of The Electrochemical SocietyのMeeting Abstracts,  
No. 582

【0 0 2 3】

【発明が解決しようとする課題】

$100\text{Gb/in}^2$ を超える高い記録密度を実現するための垂直磁気記録用薄膜磁気ヘッドにおいて、 $5\text{kOe}$ 以上の高保磁力の磁気記録媒体にシャープなビットを書き込むため、幅 $200\text{nm}$ 以下の狭い磁極から $10\text{kOe}$ を超える強い磁界を発生させる必要がある。

【0 0 2 4】

図2は記録トラック中心において単磁極型記録素子が発生する記録磁界分布を3次元有限要素法により求めた計算結果である。磁極幅は $140\text{Gb/in}^2$ で必要と考えられる $150\text{nm}$ とした。4本の曲線はそれぞれ $B_s$ が $2.4\text{T}$ 、 $2.2\text{T}$ 、 $2.0\text{T}$ 、 $1.6\text{T}$ の場合に対応している。

【0 0 2 5】

この結果から、 $100\text{Gb/in}^2$ を超える高い記録密度に対応した狭トラックの記録素子で $10\text{kOe}$ を超える記録磁界を発生させるためには $2.2\text{T}$ 以上の高い $B_s$ をもつ $\text{Fe-Co}$ を主とした強磁性合金を磁極先端部に用いるのは必須であることがわかる。

【0 0 2 6】

図3は、このような高 $B_s$ 材料を用いて記録磁極幅の異なる多数の垂直記録用薄膜磁気ヘッドを作製し、 $100$ 回の記録再生動作を繰り返したときの出力変化を記録後消去の程度の指標として評価した結果である。縦軸は上記出力変化を、 $100$ 回を通しての平均出力で規格化した出力変化率を、横軸は各ヘッドの磁極幅を現している。各ヘッド間で異なるのは磁極幅のみであり、他のパラメータは一定にしてある。

【0 0 2 7】

この結果から明らかなのは、磁極幅が $200\text{nm}$ 以上のヘッドではほとんど記

録後消去が発生しておらず、200 nmを境とした狭トラック側で記録後消去の程度が急激に増大することである。なお、磁極幅200 nm以上で見られる10%未満の出力変化はほとんどが再生素子自身の感度の変動であることを確認済みである。

#### 【0028】

従来、記録後消去は単磁極型記録素子と媒体側のキーパ層との組み合わせによる高い記録効率に起因すると考えられてきた。即ち、通常磁極の媒体対向側表面では反磁界が生じるために記録素子単独では残留磁化が発生しにくい<sup>3</sup>が、磁束キーパ層が存在することで磁極内の反磁界が軽減され、残留磁化が生じ易くなるというメカニズムである。

#### 【0029】

これにたいし図2の結果では、明らかに記録効率が低下する狭トラック側で頻度が増大している。従ってこのときの記録後消去現象は上記引用例で開示されている記録後消去とは異なるモードであり、記録素子内で起きている物理現象としては全く異なるものであることがわかる。

#### 【0030】

強磁性体の磁化はスピンと呼ばれる微小な磁気モーメントの集合体と考えることができる。これらスピンは交換結合という相互作用によってモーメントのベクトルの向きが一方向に揃うよう常に相互作用している。しかし、有限の大きさに加工された強磁性体においては、外周部に発生する磁極により静磁気的なエネルギーが増大してしまうを防ぐため、各々の内部でのみ磁化が一様である磁区とよばれる小さな領域に分かれることが知られている。

#### 【0031】

このとき異なる磁区の磁化は必ずしも同じ方向を向く必要は無く、全体として磁化が閉じた構造になるような配置をとる。この磁区の境界である磁壁は有限な幅をもっている。その大きさは静磁気的なエネルギーと、隣り合うスピンのそろわないことによる交換結合エネルギーの競合で決まるため、磁性体の種類や形態により異なるが、よく知られているFe, Coなどを主とした強磁性体では数十から数百nmのオーダーになる。従って、磁性体のスケールが数百nm以下に小

さくなくなったばあい、その内部で磁壁を作ることができず逆に単一の磁区となる（単磁区化する）傾向にある。

#### 【0 0 3 2】

図4は磁極先端部の磁化状態をシミュレーションにより求め、残留磁化を計算した結果である。縦軸は残留磁化による漏洩磁界を表しており横軸は磁極幅である。この結果からも、磁極幅を200nm以下とすることにより残留磁界が急激に増大することがわかる。

#### 【0 0 3 3】

図5は上記シミュレーションで求められた磁極先端部の磁化状態の模式図である。図中の矢印55は磁化の方向を表している。磁極幅が300nmと広い磁極51（a）の場合、磁化はいわゆる還流磁区構造をとっているが、磁極幅が100nmと狭い磁極52（b）ではほぼ単磁区であり、そのために大きな残留磁界が発生していると理解される。

#### 【0 0 3 4】

実際、磁極幅300nmと120nmの記録素子の媒体対向面での磁化状態をスピン偏極走査電子顕微鏡（スピンSEM）で観察すると、やはり磁極幅が300nmと広い場合には磁化がさまざまな方向を向いた多くの磁区に分かれているのに対し、磁極幅が120nmと小さい場合にはほとんど単磁区化していることがわかった。これらの結果から、図3において観測された磁極幅200nm以下の記録後消去の急激な増加は、主磁極先端部の単磁区化によるものと結論づけられる。

#### 【0 0 3 5】

このように、小さいサイズの磁極では、磁化が一様化する傾向が強いため残留磁化が発生しやすく、装置動作中に記録後消去が多発する危険性がある。加えて、上記Fe-C合金のような高Bsの材料はNi<sub>80</sub>Fe<sub>20</sub>などの典型的な軟磁性材料に比較して一般に軟磁気特性が劣ること、つまり結晶磁気異方性の分散により磁化曲線に大きなヒステリシスがしばしば現れることや、正で大きな磁歪定数を有する材料であることも残留磁化ひいては記録後消去を誘発する要因となりうる。これは、軟磁性体のヒステリシスが大きいと励磁がないときの残留磁



化が大きいということを意味し、一方薄膜磁気ヘッドにおいて磁歪定数が正の材料は異方的な応力の効果で媒体対向面に垂直な方向に誘起された磁気異方性を持つことが知られているからである（一般に逆磁歪効果とよばれる。例として非特許文献3参照）。

#### 【0036】

そのため、元々主磁極先端部が四角柱状の細長い形状であることにより磁化が長軸方向を向きやすい（形状磁気異方性）のに加え、媒体対向面に垂直な方向の結晶磁気異方性が強くなり、先述した単磁区化の効果とも相まって、磁極先端部分の残留磁化に起因する記録後消去はより起こりやすくなることが懸念される。従ってたとえ媒体対向面に垂直な方向の残留磁化が発生しても、磁気記録媒体には実質的に残留磁界が印加されないような構成が必要とされる。

#### 【0037】

##### 【課題を解決するための手段】

本発明者等は、垂直磁気記録薄膜磁気ヘッドの記録ヘッドにおいて、単磁区化の原因である磁性体内の交換相互作用を有効に切断できる磁性多層膜の層構成ならびに材料の組み合わせを最適化することにより、非常に小さいサイズの磁極においても磁性体が還流磁区構造をとって残留磁化が抑制されることを見出した。

#### 【0038】

即ち、上述の問題を解決するために、本発明に係る垂直磁気記録薄膜磁気ヘッド及び磁気ディスク装置は、主磁極と前記主磁極に磁束を供給するためのリターンパスと前記主磁極及び前記リターンパスを励磁するための導体コイルとを備える記録ヘッドを有する垂直磁気記録用薄膜磁気ヘッドにおいて、前記主磁極の磁極幅は200nm以下であり、前記高飽和磁束密度層はFe-Co合金を含有し、前記磁性多層膜では、前記低飽和磁束密度層を介して対向する一対の前記高飽和磁束密度層の磁化の向きが反平行配列をしていることを特徴とする。なお、ここで低飽和磁束密度とはいわゆる非磁性も含む概念であることを注意しておく。

#### 【0039】

また、前記主磁極は、高飽和磁束密度層と低飽和磁束密度層との磁性多層膜を有し、前記低飽和磁束密度層の厚みが0.5nm以上、5nm以下の範囲であり

、前記高飽和磁束密度層の厚さが10 nm以上50 nm以下であることが好ましい。

#### 【0040】

発明によれば、主磁極に含まれる磁性多層膜が還流磁区構造をとって残留磁化が抑制されるので、記録後消去が防止された垂直磁気記録薄膜磁気ヘッド及び磁気ディスク装置を提供できる。

#### 【0041】

##### 【発明の実施の形態】

本発明を適用した垂直記録用薄膜磁気ヘッドは、少なくとも主磁極と前記主磁極に磁束を供給するためのリターンパスと前記主磁極及び前記リターンパスを励磁するための導体コイルとを備える。そして、主磁極の磁極幅は200 nm以下であり、主磁極は、高飽和磁束密度層（高Bs層）と低飽和磁束密度層（低Bs層）との磁性多層膜を有し、高飽和磁束密度層は、Fe-Co合金を含有することを特徴とする。

#### 【0042】

そして、低飽和磁束密度層の厚みが0.5 nm以上、5 nm以下の範囲であり、高飽和磁束密度層の厚さが10 nm以上50 nm以下と制御することにより、磁性多層膜では、前記低飽和磁束密度層を介して対向する一对の前記高飽和磁束密度層の磁化の向きが反平行配列をしたものとなる。

#### 【0043】

高Bs層の層数は4層以上であることが望ましく、各高Bs層の層厚は一定でない構成とするとより効果的である。高Bs層の層数は10層以上とすればより完全な効果が得られる。

#### 【0044】

高Bs層には、10パーセント以下の添加元素を添加することでより軟磁気特性を向上させた強磁性体を用いることができる。このとき前記高Bs層は体心立方格子構造を有しているならば、2.2 T以上の高いBsとより良好な軟磁気特性を両立させることが可能となる。

#### 【0045】

なお、高B s層及び低B s層からなる磁性多層膜は、主磁極の媒体対向面に対して垂直な平面に平行な方向に積層されたものである。

#### 【0046】

また、やはり軟磁気特性の観点から前記低B s層ないし非磁性層のB sは2.2 T未満であって、結晶構造としては面心立方格子構造を有することが望ましく、材料としてはNi-Cr, Ni-Fe, Ni-Fe-Cr, Ta等が好適である。

#### 【0047】

前記主磁極は、高保磁力の磁気記録媒体を十分磁化できるための高い記録磁界を発生する必要があるため、磁性多層膜の膜厚構成としては前記低B s層ないし非磁性層が5 nm以下であるか、前記高B s層が50 nm以下であるか、またはこの両者の組み合わせであることが望ましい。更に前記高B s層が20 nm以下であるならば、より完全な効果が得られる。

#### 【0048】

上記のような磁性多層膜からなる主磁極を形成する手段としては、スパッタリングによる堆積工程とイオンミリングによるエッチング工程の組み合わせが最適である。

#### 【0049】

前記記録素子のリターンパスは、B sが2.2 T未満の小さい材料からなる単層もしくは多層の軟磁性膜を用いることで、最適な効率で安定な記録動作を実現することが可能である。

#### 【0050】

以上のような構成を単独でまたは複数の組み合わせで適用することにより、残留磁化がほとんど発生しない高信頼の垂直記録用薄膜磁気ヘッドを、安価に供給することが可能となる。

#### 【0051】

またこのような薄膜磁気ヘッドを、磁束キープ層を備えた磁気記録媒体と組み合わせることで、大容量・高性能かつ安価な磁気ディスク装置の提供が実現可能となる。その際、磁束キープ層を多層の構成にすると記録素子主磁極の残留磁化

を抑制する効果があるため、装置の信頼性をより高めることができる。

#### 【0052】

なお、媒体記録層の磁気異方性や記録磁界に意図的に面内方向の成分を付与することで、更に到達記録密度を向上させる試みが近年活発に行われている。しかしながらこのような方式においても、記録磁界は依然として面内成分より垂直成分が支配的であるため、通常は垂直記録方式に分類されている。また、副磁極などの形態を工夫することで記録磁界に面内磁界成分を加えたり、記録磁界勾配を改善した構造の記録素子も検討されているが、主磁極の媒体対向面側から出る磁界で媒体を磁化するという基本的な機能は変わらないので、これらも垂直記録用薄膜磁気ヘッドといってよい。従って本発明はこれらの磁気記録系ないし記録素子に対して適用しても有効である。

#### 【0053】

以下、本発明を適用した垂直記録用薄膜磁気ヘッド及び磁気ディスク装置について、図面を参照して詳細に説明する。

#### 【0054】

本発明の主磁極を構成する磁性多層膜（磁性多層膜）は高周波マグネトロンスパッタリング装置により以下のように作製した。Ar圧1から6ミリトールの雰囲気中にて、セラミックス基板に前もって必要な構造体を形成した基体に磁極を構成する材料を順次堆積して作製した。スパッタリングターゲットとしてはFe-Co, Ni-Cr, Ni-Fe-Cr, Ta, Al, Al-O, Si, Si-Oを用いた。積層膜は、各ターゲットを配置したカソードに各々高周波電力を印加して装置内にプラズマを発生させておき、各カソードに配置されたシャッターを一つずつ開閉して順次各層を形成した。

#### 【0055】

膜形成時には永久磁石を用いて基板面に平行に磁界を印加し、一軸結晶磁気異方性を付与した。基体上の素子の形成はフォトレジストを露光および現像する工程とイオンミリング工程を含む一連のプロセスによってパターンニングした。最終的には基体をスライダーに機械加工し、ステンレス製のサスペンションと組み合わせて磁気ディスク装置に搭載した。

## 【0056】

## [実施例1]

図6は、本発明の第一の実施例に用いた磁性多層膜の構成を示す断面図である。基体61上に、下地膜62を介して高Bs層63と非磁性層64が交互に堆積され、最後に保護層65により被覆されている。高Bs層63は体心立方格子構造をもつFe<sub>70</sub>Co<sub>30</sub>であり、下地膜62及び非磁性層64はいずれも面心立方格子構造をもつNi<sub>80</sub>Cr<sub>20</sub>である（膜厚3nm）。なお、図6は、媒体対向面方向からみた磁性多層膜を表すものである。

## 【0057】

高Bs層63の膜厚は合計で200nmとなるようにしてあるので図6の例では1層あたり25nmである。また低Bs層はNi-Cr合金であり膜厚は3nmとした。磁化曲線を測定したところ、保磁力は磁化容易軸方向、磁化困難軸方向ともに40e未満、異方性磁界H<sub>k</sub>は100e以下、磁歪定数は $+5 \times 10^{-6}$ と正で大きな値であった。高Bs層63のBsは2.4であり、図7に示したFe-Co-Ni3元合金の相図から予測されるBsと一致している。

## 【0058】

なお、本実施例を含めて以下に述べる全ての実施例において高Bs層63のBsは2.2T以上であるから、Fe-Co-Ni合金の場合図7の相図上で2.2Tの境界で囲まれた部分71の組成であればよい。一方 $(\text{Fe}_\alpha\text{Co}_\beta)_\gamma\text{M}_\gamma$ （但しMはB、Ti、Nb、Al、Al-O、Si、Si-Oであり $0 \leq \gamma \leq 15$ ）で表される組成の場合、添加物Mも含めた3元合金としてのBsが2.2T以上であるためには $\text{Fe}_\alpha\text{Co}_\beta$ が図7において2.4Tの境界で囲まれた部分に相当する組成であることが望ましい。

## 【0059】

また図6においては高Bs層63が4層の例を示しているが、我々はここで層数を1から25層まで変化させたヘッドを作製した。

## 【0060】

これらの磁性多層膜から、（1）レジスト塗布・ベーク工程（2）露光工程（3）現像工程（4）イオンミリング工程、を含むウエファプロセスおよびスライ

ダ加工プロセスを経て形成された薄膜磁気ヘッドを示したのが図8である。ここでは主磁極13の媒体対向面での磁極幅は150nmとしてあるが、200nm以下の磁極幅であれば全く同様の結果が得られることがわかっている。ヨーク14、リターンパス15、および副磁極16はいずれもはNi-Fe合金を主とした強磁性材料からなるが、Ni組成を80%以上としているので $B_s$ は1T以下であり、磁歪定数は負の値を示した。このように負磁歪材料を用いる事で、先述した逆磁歪効果によりヨーク部14・リターンパス15・副磁極16の磁化は媒体対向面と平行な方向に安定化する傾向を有し、磁極先端部以外での磁化状態に起因する残留磁界や不安定性などの問題を回避する事が可能となった。

#### 【0061】

ここでは再生素子は省略してあるが、以下のすべての実施例も含め、面内電流型巨大磁気抵抗効果(CIP-GMR)素子、垂直電流型巨大磁気抵抗(CPP-GMR)素子、トンネル磁気抵抗(TMRもしくはMTJ)素子を含むあらゆる原理・構造の再生素子と組み合わせることが可能である。

#### 【0062】

図9は、ヘッドを作製するのに先立ち、最適な層構成を求めるため行った計算結果を示している。先述したように、2.2Tを超える高 $B_s$ 材料は通常磁歪定数が正であるため、逆磁歪効果により磁化が媒体対向面を向きやすくなる傾向を有している。そのため膜構成を設計するに当たっては、各高 $B_s$ 層63の磁化101が媒体対向面を向いても残留磁界102が十分低くなるようにしなければならない。

#### 【0063】

多層化したときの利点は図9(a)にあるように各高 $B_s$ 層の磁化101が反平行配列をすることである。そのため残留磁界102は磁極の側で還流することにより媒体に印加されにくくなる。図9(b)はこの反平行配列を前提として残留磁界の層数依存性を計算した結果である。図中に示したようにこの磁界が媒体保磁力より小さくならないことを考えると、層数は少なくとも4層以上必要であることがわかる。

#### 【0064】

こうして作製した垂直記録用ヘッドの特性評価した結果を図10に示した。図10(a)は出力変化率の層構成依存性。図10(b)はオーバーライト消去比の層構成依存性である。図9の計算結果を裏付けるように、出力変化率は4層以上で大幅に改善されていることがわかる。さらに、10層以上では出力変化率が10%以下で一定となっている。10%以下の出力変動は先述したように再生素子自身の感度の変動であることから、10層以上では記録後消去がほぼ完全に抑止されたと考えられる。

#### 【0065】

図11には各層数のヘッドのグループについて出力変化率の相対頻度分布をしめたが、確かに10層ではすべてのヘッドが10%以下の出力変化率になっていることが確認できる。一方、図10(b)を見ると、オーバーライト消去比は20層以上で劣化し始め、25層では一般に必要とされる30dBを下回ってしまうという結果が得られた。これは、層数を増やしすぎると磁極全体で非磁性層の占める体積率が増大し、記録磁界の低下を招くためである。

#### 【0066】

本実施例の結果から、高Bs層の層数は4層以上必要であり、10層以上ではより完全な効果が得られることがわかった。これは各高Bs層の膜厚が50nm以下更に望ましくは20nm以下であることに相当する。一方記録性能の面から層数は20層以下、膜厚は10nm以上必要である。

#### 【0067】

なお、高Bs層を分離するための低Bs層である非磁性層63および下地層62としては、少なくとも高Bs層のBsより小さいことすなわち2.2未満、望ましくは結晶磁気磁気異方性などの小さい2.0T以下の材料であることが必要である。ここでは一般には室温で非磁性とされるNi-Cr合金を用いたが、Ni-Feなどの磁性元素が入った低Bs材料やTa、Ni-Fe-Crなどの非磁性材料が含まれる場合でも、結晶構造が面心立方構造であれば同等の結果を得ることができた。また下地層62と中間層63が同じ材料からなる場合も異なる材料からなる場合も、上記の材料群から選択した場合には同じように良好な結果が得られている。

## 【 0 0 6 8 】

低 B s 層の膜厚に関してもさまざまな構成で検討を行った。まず膜の平坦性による各高 B s 間の強磁性的結合（一般にオレンジピール効果と呼ばれる）を防止するためには 0.5 nm 以上必要であることがわかった。次に上限についてであるが、図 1 2 は低 B s 層 63 の膜厚を 0.5 nm から 10 nm の範囲で変化させた場合のオーバーライト消去比を実測した結果を示している。この結果から、低 B s 層 63 が 5 nm を超える場合には記録特性が大幅に劣化していることがわかる。これは主磁極に占める低 B s 層の割合が増大したため実質的に全体の B s が低下したのと同じ効果を生じ、記録磁界が低下したためと考えられる。

## 【 0 0 6 9 】

図 1 3 は、上記第一の実施例で作製したヘッドと、磁束キープ層を有する磁気記録媒体を搭載した磁気ディスク装置の概念図を示している。薄膜磁気ヘッドを形成したスライダ 121 はサスペンションアーム 122 により支持され、位置決め機構 123 によりディスク 124 上で位置決めされて所望の場所で情報の読み書きを行う。ディスク 124 はスピンドルモータ 125 により回転が制御されている。ディスク 124 上にはあらかじめ位置を示す信号（サーボ信号）が記録されており、ヘッドが読み取ったサーボ信号を機構制御回路 130 で処理したうえで位置決め機構 123 にフィードバックすることで閉ループ制御が行われている。

## 【 0 0 7 0 】

外部インターフェイス 127 を通して入ってきたユーザデータは、データ符号・記録回路 128 で磁気記録系に好適な方法で符号化・整形されて記録電流波形に変換され、記録素子を励磁することで媒体にビットが書き込まれる。逆に書き込まれたビットから出る漏洩磁界は生素子がセンスすることで電氣的信号に変換され、データ再生・復号回路 129 で磁気記録系に好適な方法で波形整形・復号化処理を経てユーザデータが再現される。このように動作する磁気ディスク装置に本発明を適用した薄膜磁気ヘッドを用いた結果、記録後消去等による異常を起こすことなく安定した動作が実現できた。これにより大容量かつ高信頼性の磁気ディスク装置を安価に提供することができるようになった。

## 【 0 0 7 1 】



なお、膜厚中心間の距離をDとし、装置動作時の主磁極先端部と磁束キープ層の距離をHとした場合、残留磁化状態において主磁極の高Bs層間で磁束が有効に還流するように $D \leq 2 \times H$ とすれば、長期信頼性において特に優れていることがわかった。

#### 【0072】

これまで用いた、磁束キープ層を有する磁気記録媒体において、磁束キープ層の構成は図1に示したように単層の強磁性体層からなるものであったが、磁気ディスク装置のより安定な動作と高い信頼性を実現するため、磁束キープ層を多層構成とした磁気記録媒体と本発明を適用した薄膜磁気ヘッドを組み合わせることで磁気ディスク装置を構成することは有効である。

#### 【0073】

図14は改善された磁束キープ層の構成例を示す断面図である。まず図14(a)は、基板130上に構成された磁束キープ層19において強磁性体層132を非磁性体層133で分割した構成を持つ磁気記録媒体である。このような構成にした磁気記録媒体と、上記実施例の薄膜磁気ヘッドを組み合わせることで、主磁極の高Bs層数が少ない6層構成以上で記録後消去を完全に抑制することができ、これらを搭載した磁気ディスク装置も安定に動作することがわかった。更に非磁性層133としてRu、Cr、Ir、Rhのいずれかを主として含む合金材料を選択することで上下の強磁性層133同士に反強磁性的な結合が生じ、磁束キープ層内の磁化状態の安定性が向上したため、主磁極の高Bs層数が6層と少ない場合でも記録後消去を完全に抑制することができた。

#### 【0074】

次に図14(b)は図14(a)と同等の層構成に反強磁性体層135を挿入したものである。反強磁性体材料としてはIrMn、FeMn、PtMn、CrMnPt、NiOなどを選択した場合に良好な結果が得られた。なお図14(a)(b)ともに強磁性体層132は2層の構成としたが、3層から5層の範囲でも同等の良好な結果が得られた。また強磁性体層132の膜厚が100nm以下の場合にキープ層多層化による改善効果が顕著に見られた。

#### 【0075】

以上の改善された磁束キープ層を有する磁気記録媒体と、本発明を適用した薄膜磁気ヘッドを組み合わせて、信頼性に優れた磁気ディスク装置が実現できた。

#### 【0076】

##### [実施例2]

実施例1においては、主磁極の高Bs層は成膜時のばらつきの範囲（一般的には±5%程度）で各々同じ膜厚としていたが、意図的に異なる膜厚の構成とすることで更なる改善が期待できる。

#### 【0077】

図15はこのような構成の実施例を示す断面図である。ここでは第一の高Bs層（基体側から奇数番目の高Bs層）63と第二の高Bs層（基体側から偶数番目の高Bs層）63'との間に20%の膜厚差を設け、これらを交互に積層する構成としている。こうすることで、残留磁化状態において各高Bs層が静磁気結合するにあたり常に同一の磁化状態が実現されるため、10<sup>10</sup>回という非常に他数回の記録動作とおして常に同一の特性を示すため、磁気ディスク装置の動作安定性が向上することがわかった。

#### 【0078】

##### [実施例3]

主磁極の高Bs層の膜厚が層ごとに異なる構成の第2の例を図16に示した。ここでは複数の高Bs層のうち最も基体に近い側と最も基体から遠い側の層厚を小さくした構成となっている。こうすることで、この2つの層が片側にしか高Bs層を持たないことによる微弱な残留磁界が媒体に印加されることがなくなり、磁気記録媒体に記録されたビットの長期にわたる安定性を損なうことなく良好な記録再生特性が得られることがわかった。

#### 【0079】

これまでの実施例で記録素子の構造は全て図8の構造であった。以下に述べるのは図8以外の構造を有する薄膜磁気ヘッドに本発明を適用した実施の形態である。

#### 【0080】

##### [実施例4]

図17は、図8におけるヨーク14を省略して主磁極先端部13のパターンを直接リターンパス15に接続する構成にした記録素子の斜視図である。主磁極先端部13の層構成として、上記実施例1ないし3で述べた全ての組み合わせを実施したが、まったく同様の結果が得られた。これに加えて本実施例では記録素子を形成する工程が大幅に短縮するため、より低コストで高性能かつ高信頼の薄膜磁気ヘッドを提供することが可能となった。

#### 【0081】

##### [実施例5]

図18は本発明を適用した薄膜磁気ヘッドの断面図である。主磁極テーパー部179が主磁極先端部13と膜面で接触する構造になっている。ここで主磁極テーパー部179は、媒体対向面177に近づくに従い膜厚方向のサイズが狭小化するくさび上の形状であり、材料は主磁極先端部13よりも低くヨーク14よりも高いBsを有するCo-Ni-FeやFe-Niを主として含む強磁性合金を用いている。

#### 【0082】

このような構成にすることで記録磁界は約30%増加することが見込まれ、実際記録層の保磁力が6kOeを超える磁気記録媒体に対しても35dB以上の高いオーバーライト消去比が得られた。従って同じ磁極幅でも面記録密度を約30%向上させることができた。

#### 【0083】

なお、ヨーク14はこの主磁極テーパー部179の基体側の面で接合しているが、主磁極先端部13および主磁極テーパー部179をヨーク14より基体側に配置することで、ヨーク14と主磁極先端部13が直接接触する構成としても全く同様の結果が得られることは明らかである。

#### 【0084】

##### [実施例6]

図19は本発明を適用した薄膜磁気ヘッドの断面図である。主磁極先端部13は副磁極16よりも基体側に位置し、補助磁極先端部181が媒体対向面177において副磁極13から主磁極先端部13に向けて伸びている。この副磁極先端部181が、主磁極先端部13から発生する磁界のトレーリング側（基体と反対側）での勾配をより

急峻にすることが期待される。実この構成にしたことによって、記録磁界勾配に依存すると考えられている信号分解能は15%向上した。そのため、より高い記録密度を実現することのできる安定かつ高信頼性の薄膜磁気ヘッドを提供することが可能となった。

#### 【0085】

なお、仮に図19の構成から副磁極先端部181を取り除いた構成としても、少なくとも安定性・信頼性の点で本発明の効果を減ずるものではない。

#### 【0086】

##### [実施例7]

図20は本発明を適用した多層の主磁極を用いた単磁極型薄膜磁気ヘッドを搭載した磁気ディスク装置において記録動作の安定性を評価したデータの一例である。

#### 【0087】

図20(a)には記録電流のオーバーシュートを130%に設定した場合、図20(b)には同じく70%に設定した場合を示した。なおここでオーバーシュートとは、図21に記録電流波形とともに示したピーク電流値 $I_p$ および平坦部の電流値 $I_n$ を用いて $(I_p - I_n) / I_n \times 100$ と表される指標のことである。

#### 【0088】

図20によればオーバーシュートを大にした(a)の場合、磁極を多層としているにもかかわらず記録レベルの変動が著しく、記録後消去が多発していることがわかる。一方オーバーシュートを小さく抑えた(b)の場合、記録後消去が全く発生していないことがわかった。

#### 【0089】

一般にオーバーシュートの値は磁気ディスク装置の回路系127において設定されるものであるが、高い周波数における記録性能と密接に関わる指標であるため最終的にはヘッドのみならず媒体特性や装置全体の性能を加味して決めなければならない。このためなるべく広い範囲のオーバーシュート値を許容する本発明適用の薄膜磁気ヘッドは磁気ディスク装置の性能と信頼性を両立するためにも必須

である。

#### 【0090】

図22にはオーバーシュート値を変化させた場合の出力変動幅を示した。先述したようにこの出力変動幅は記録後消去の程度を表している。参考のため単層の磁極を有する薄膜磁気ヘッドを用いた例も同時に示した。この図からわかるように、本実施例における単層の場合は非常に小さいオーバーシュートの場合を除いて常に大きな記録後消去が発生しているのに対し、本発明の多層磁極を用いた場合はオーバーシュートが100%以下の範囲で記録後消去が有効に抑制されることがわかる。続いて図23には磁気記録系ひいては磁気ディスク装置全体の性能を表す重要な指標である非線形ビットシフトのオーバーシュート依存性を示した。

#### 【0091】

磁極が単層であるか多層であるかにかかわらずオーバーシュートは50%以上必要である事がわかる。この場合の50%という閾値は媒体性能や記録電流伝送路の特性により左右されるが、少なくとも記録後消去の抑制と非線形ビットシフトの抑制を両立するのに本発明は有効である事が明らかとなった。

#### 【0092】

本実施例から、磁気ディスク装置の性能を決定する重要な要素であるオーバーシュートと記録動作の安定性には密接な関係があり、装置の性能と信頼性を両立するために本発明の適用は必須と言える。なお、磁極の構成（層数・材料・層厚など）を様々に変化させてみたが、本発明の範囲内であれば殆ど同等の結果を得ることができた。

#### 【0093】

##### 【発明の効果】

本発明によれば、 $100\text{Gb/in}^2$ を超える高い記録密度に対応した磁極幅 $200\text{nm}$ 以下の狭トラックでも十分大きな記録磁界を確保しつつ記録後消去を有効に抑制することができ、高性能かつ高信頼の垂直記録用薄膜磁気ヘッドを安価に供給することが可能である。また磁束キープ層を有する垂直磁気記録媒体と本発明の垂直記録用薄膜磁気ヘッドを組み合わせることで高信頼の磁気ディスク

装置の供給が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

垂直磁気記録方式の典型的な構成とくに磁束キープ層を有する磁気記録媒体と薄膜磁気ヘッドと記録されたビットの配置をあらわす斜視図。

【図 2】

薄膜磁気ヘッドによる記録磁界分布の、主磁極材料  $B_s$  依存性。

【図 3】

出力変化率の記録磁極幅依存性。

【図 4】

残留磁界の磁極幅依存性。

【図 5】

磁極幅が 3 0 0 n m ( a ) の場合と 1 0 0 n m ( b ) の場合の磁極先端の磁化状態の模式図。

【図 6】

本発明の第一の実施例である薄膜磁気ヘッド磁極先端部の残面図。

【図 7】

C o - N i - F e 系 3 元合金の  $B_s$  についての相図。

【図 8】

本発明の第一の実施例である記録素子の全体構造をあらわす斜視図。

【図 9】

残留磁界の磁極先端部層構成依存性。

【図 1 0】

出力変化率の磁極先端部層構成依存性。

【図 1 1】

磁極先端部の層構成が異なる薄膜磁気ヘッドの各グループにおける出力変化率の相対頻度分布。

【図 1 2】

低飽和磁束密度層の厚みとオーバーライト消去比との関係を示す特性図。

**【図 13】**

本発明を適用した磁気ディスク装置の模式図。

**【図 14】**

本発明の第 1 の実施例において用いられた、改良された磁束キープ層を有する磁気記録媒体の断面図。

**【図 15】**

本発明の第 2 の実施例における磁極先端部の断面図。

**【図 16】**

本発明の第 3 の実施例における磁極先端部の断面図。

**【図 17】**

本発明の第 4 の実施例における記録素子の斜視図。

**【図 18】**

本発明の第 5 の実施例における薄膜磁気ヘッドの断面図。

**【図 19】**

本発明の第 6 の実施例における薄膜磁気ヘッドの断面図。

**【図 20】**

第 7 の実施例における記録動作の安定性を評価したデータ特性図。

**【図 21】**

オーバーシュートの説明図。

**【図 22】**

実施例 7 におけるオーバーシュート値と出力変動幅との関係を示す特性図。

**【図 23】**

実施例 7 における非線形ビットシフトのオーバーシュート依存性を示す特性図。

**【符号の説明】**

11…記録素子, 12…再生素子, 13…主磁極先端部, 14…ヨーク, 15…リターンパス, 16…副磁極, 17…励磁コイル, 18…記録層, 19…磁束キープ層, 20…記録磁化, 55…主磁極先端部の磁化, 61…基体兼スライダ, 62…下地膜, 63…高 B s 層, 64…低 B s 層ないし非磁性層, 65…キャップ層, 71…C o - F e - N i 3 元

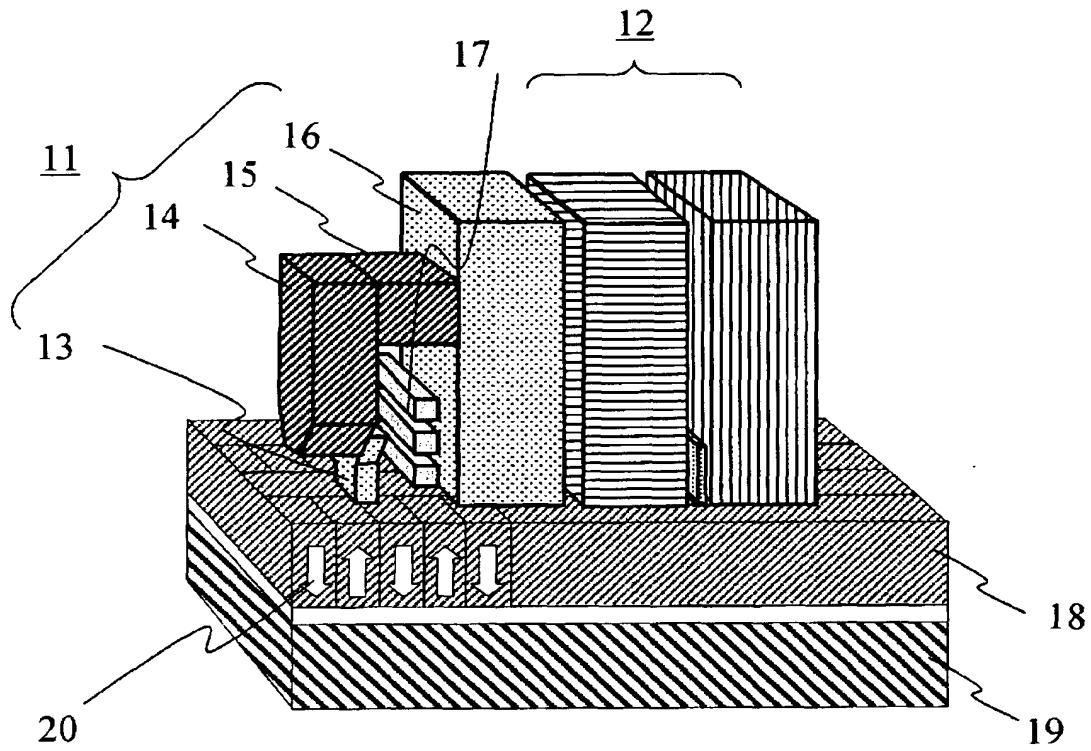
合金で  $B_s$  が  $2.2\text{ T}$  以上となる組成, 91...主磁極先端部の高  $B_s$  層内の磁化, 92...残留磁界, 121...薄膜磁気ヘッドを搭載したスライダ, 122...サスペンションアーム, 123...ヘッド位置決め機構, 124...磁気ディスク, 125...スピンドルモータ, 126...磁気ディスク装置の外部インタフェース, 127...データ符号化及び記録部, 128...データ再生及び復号部, 129...機構制御系回路, 131...磁気記録媒体の下地層, 132...分割された磁束キープ層, 133...磁束キープ層を分割する中間層, 135...反強磁性層, 172...再生素子の上部シールド, 173...再生素子の下部シールド, 174...磁気抵抗効果素子, 177...薄膜磁気ヘッドの媒体対向面, 179...主磁極テーパー部, 181...副磁極先端部。



【書類名】 図面

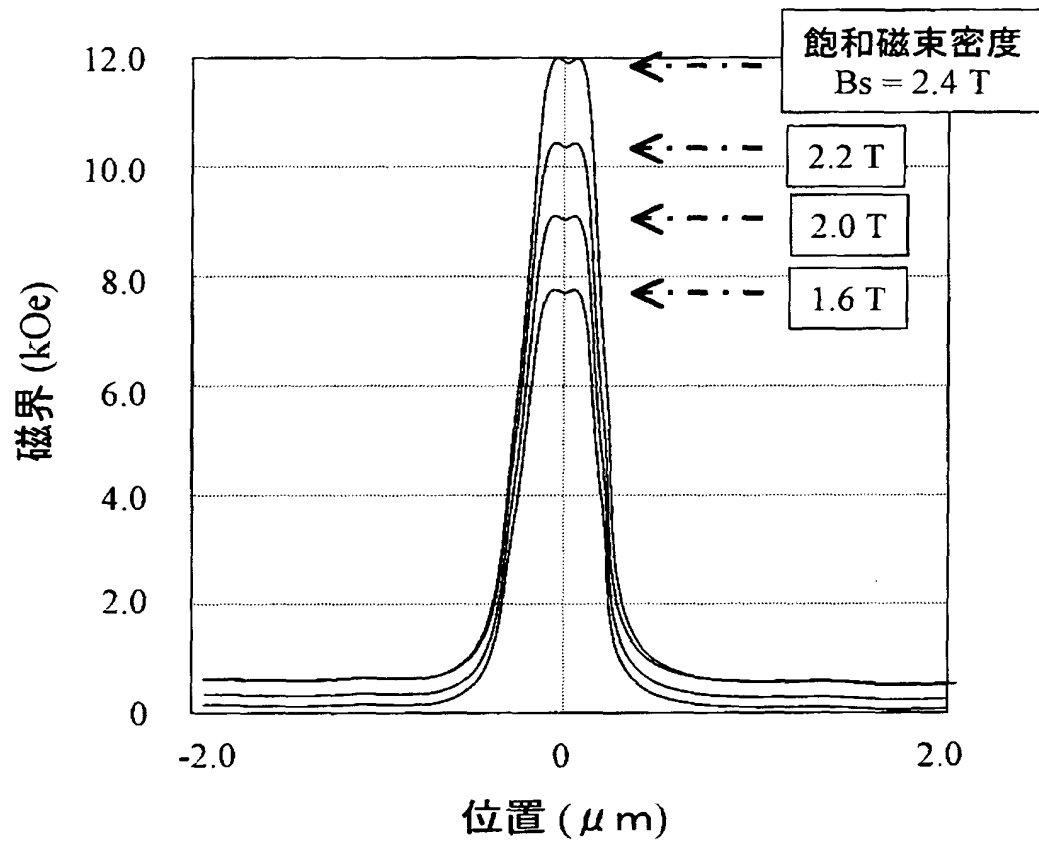
【図 1】

図 1



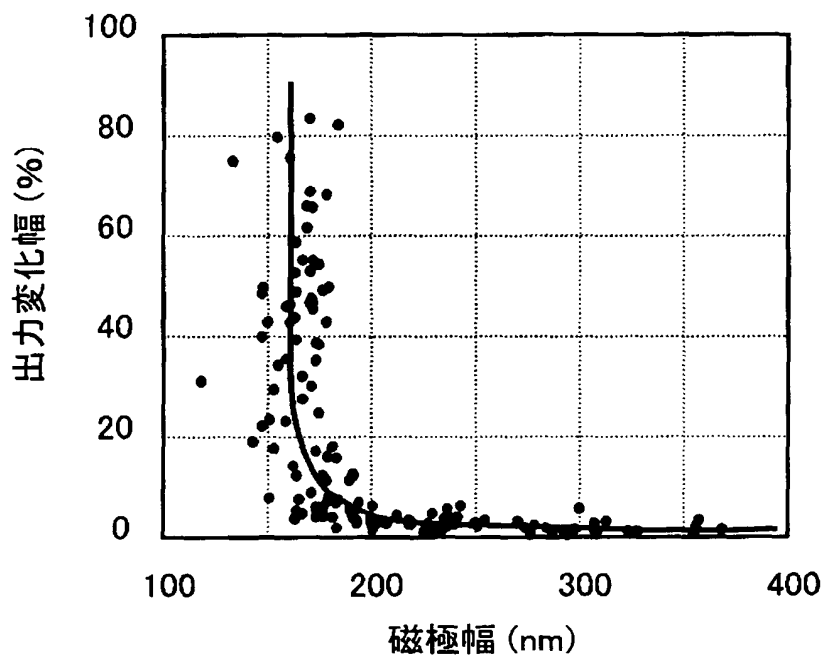
【図 2】

図 2



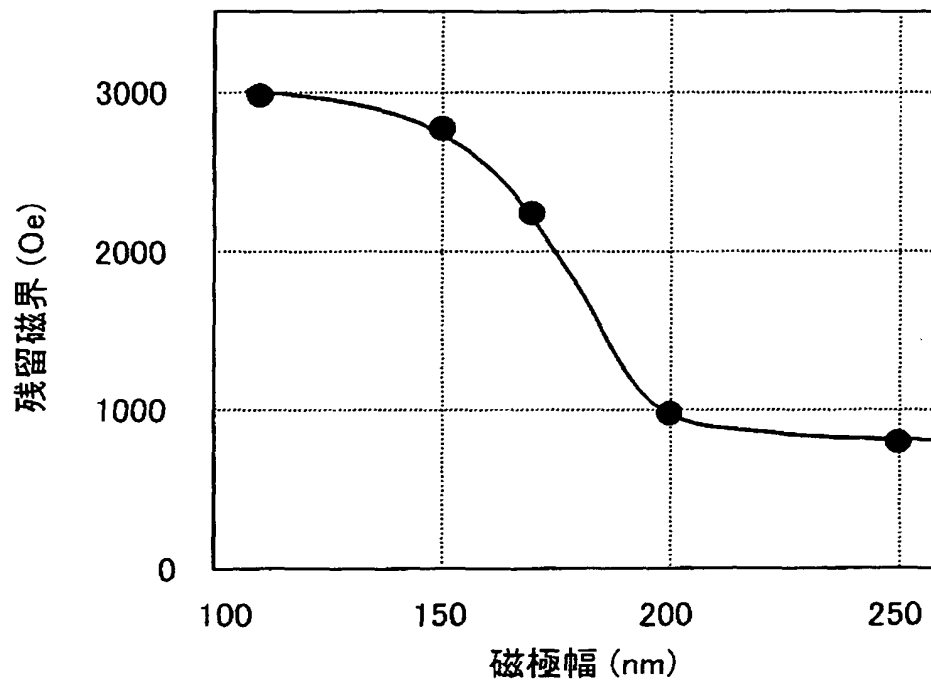
【図 3】

図 3



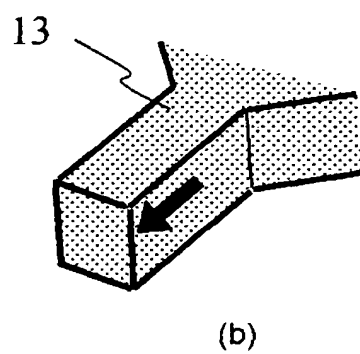
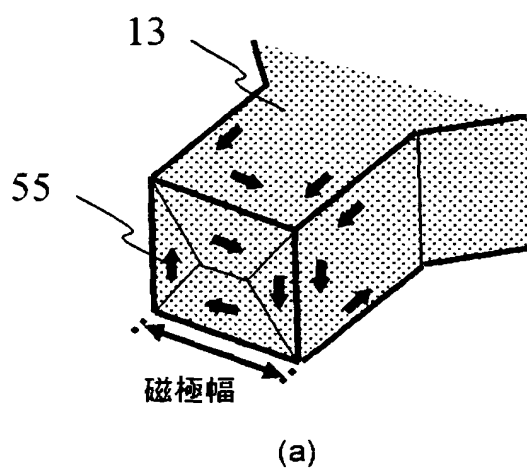
【図 4】

図 4



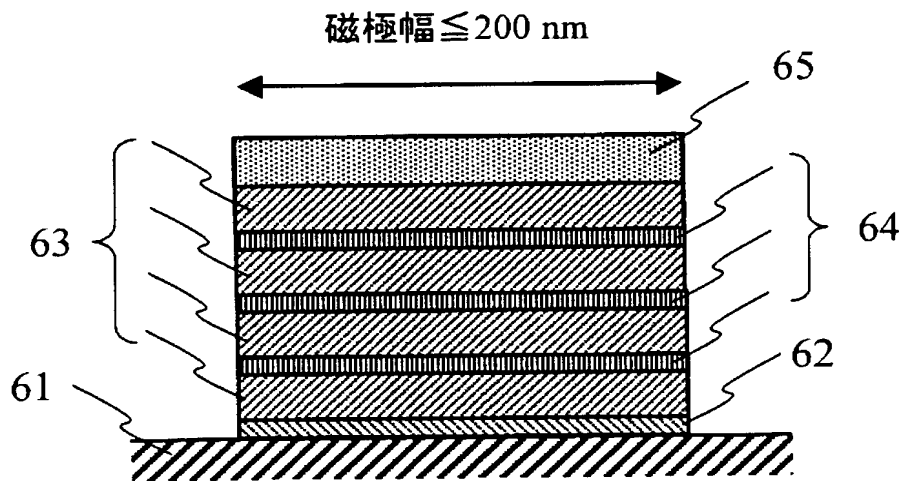
【図 5】

図5



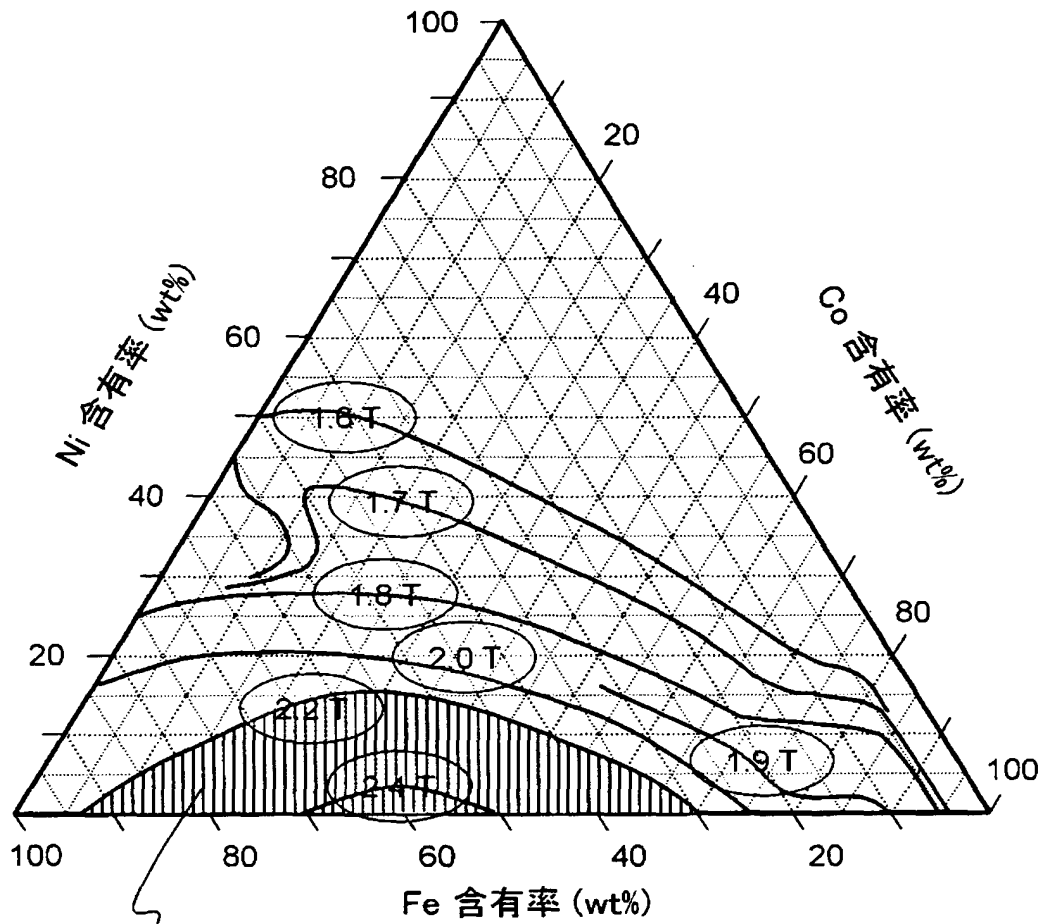
【図 6】

図 6



【図 7】

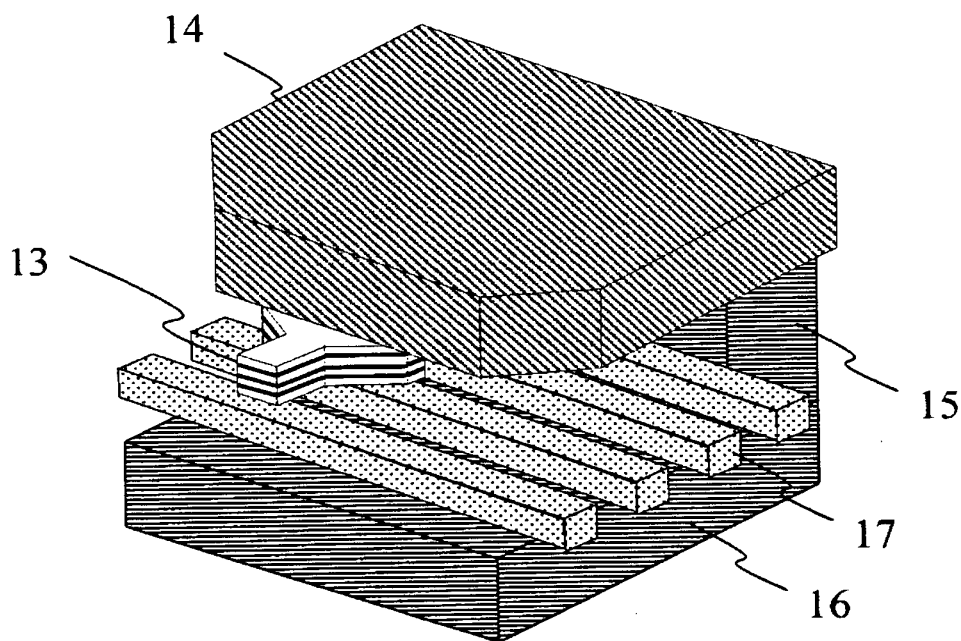
図 7



71

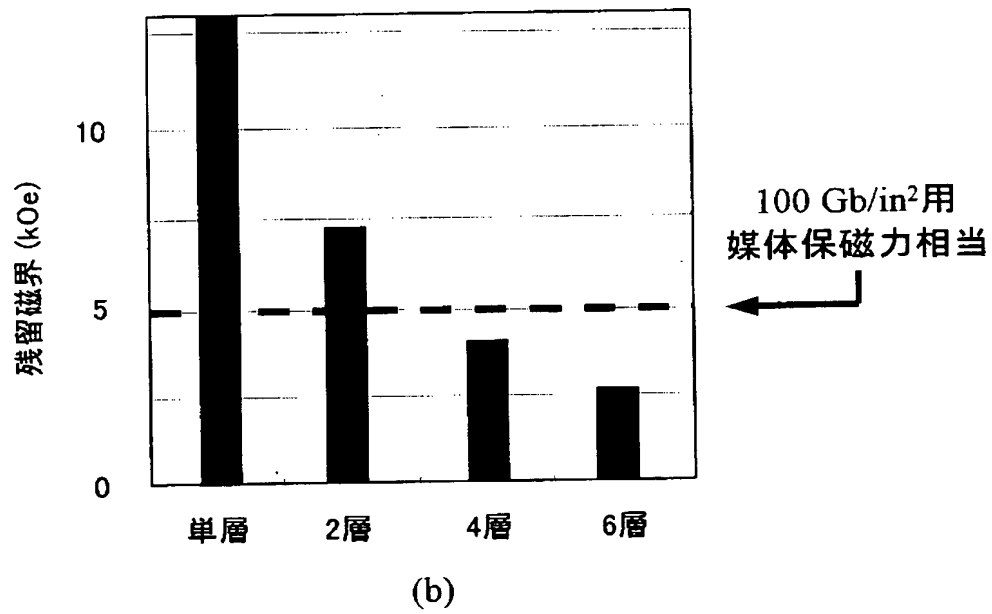
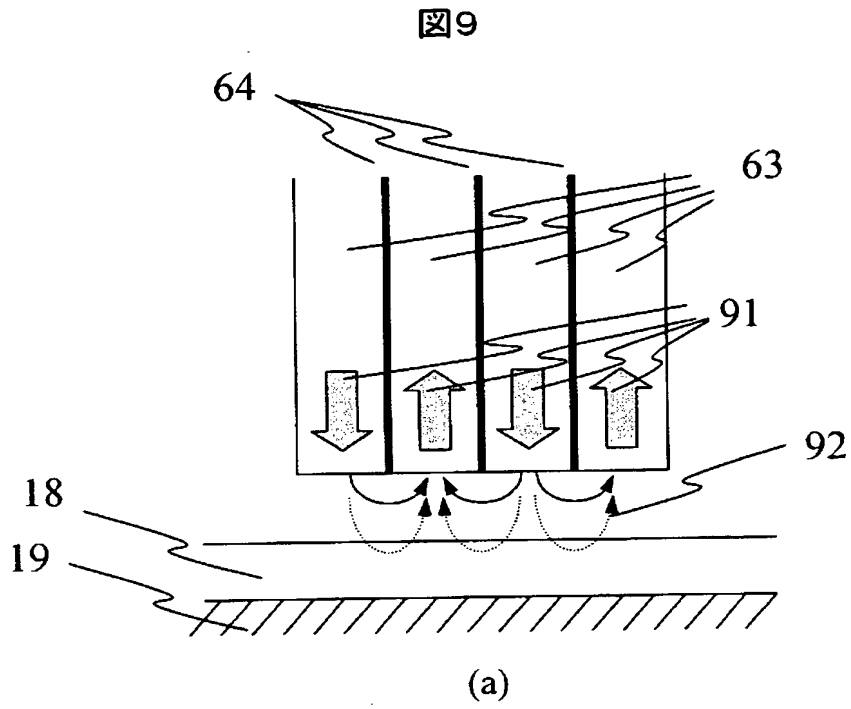
【図 8】

図8



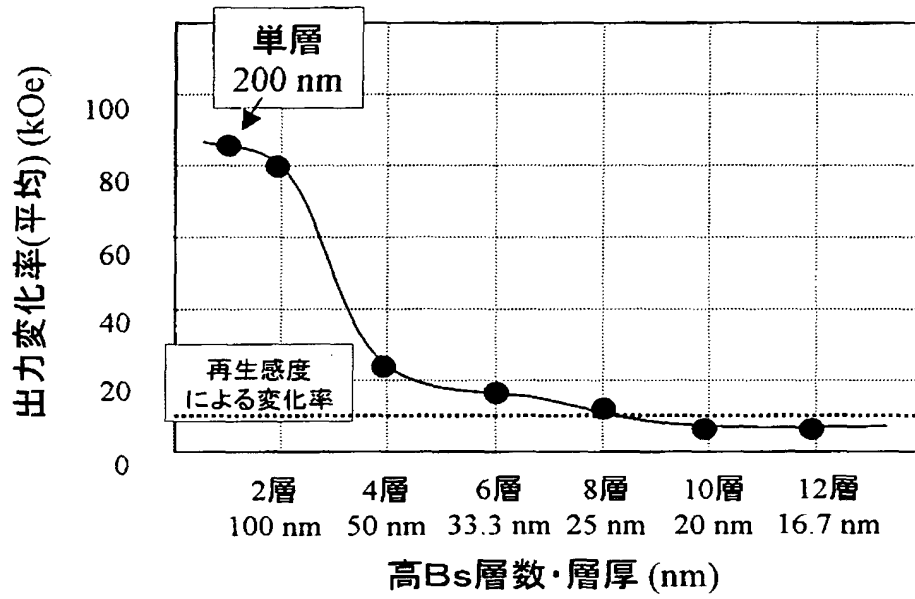


【図 9】

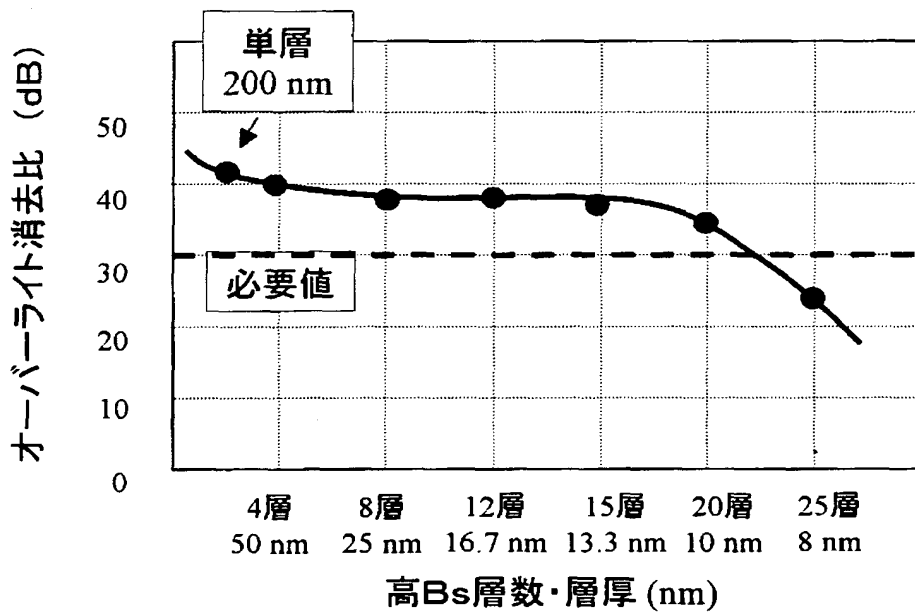


【図10】

図10



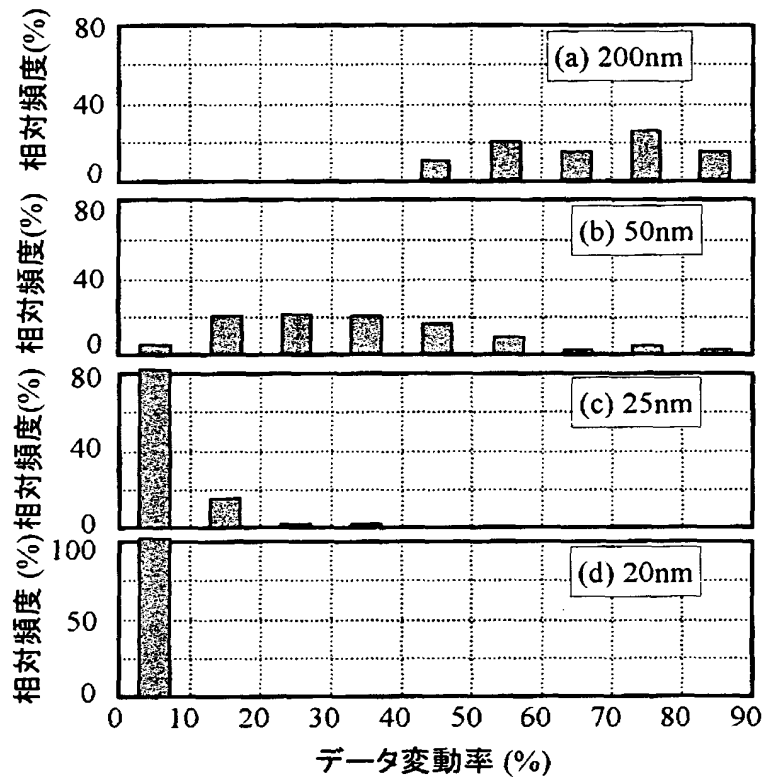
(a)



(b)

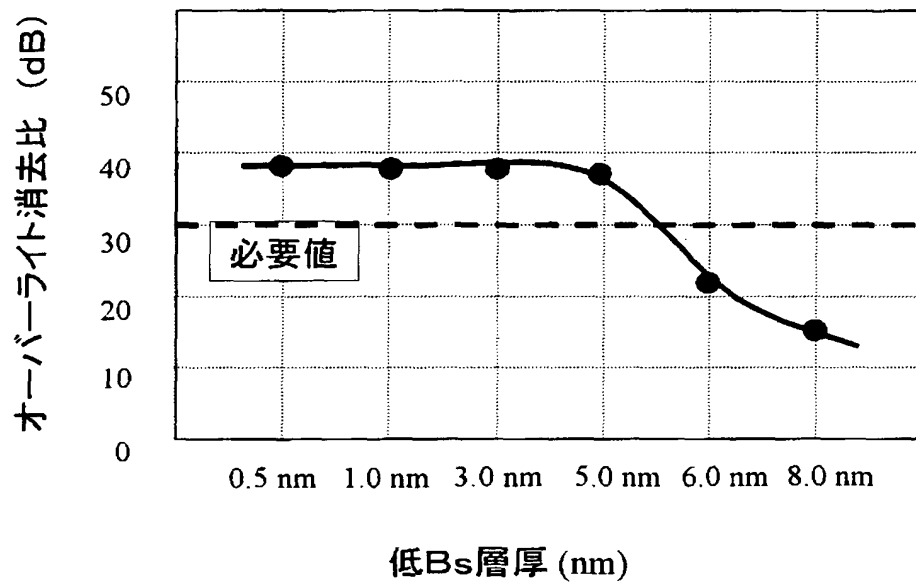
【図 11】

図 11



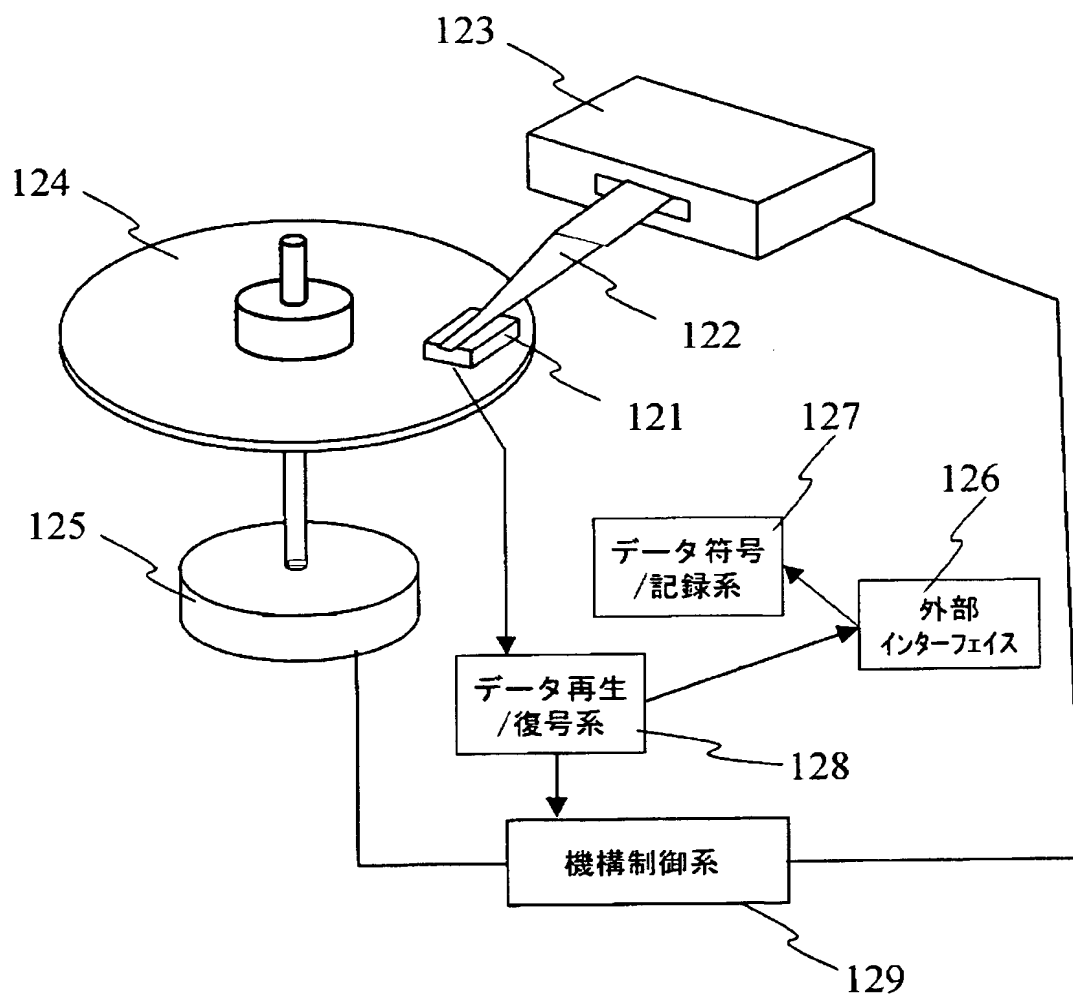
【図 12】

図12



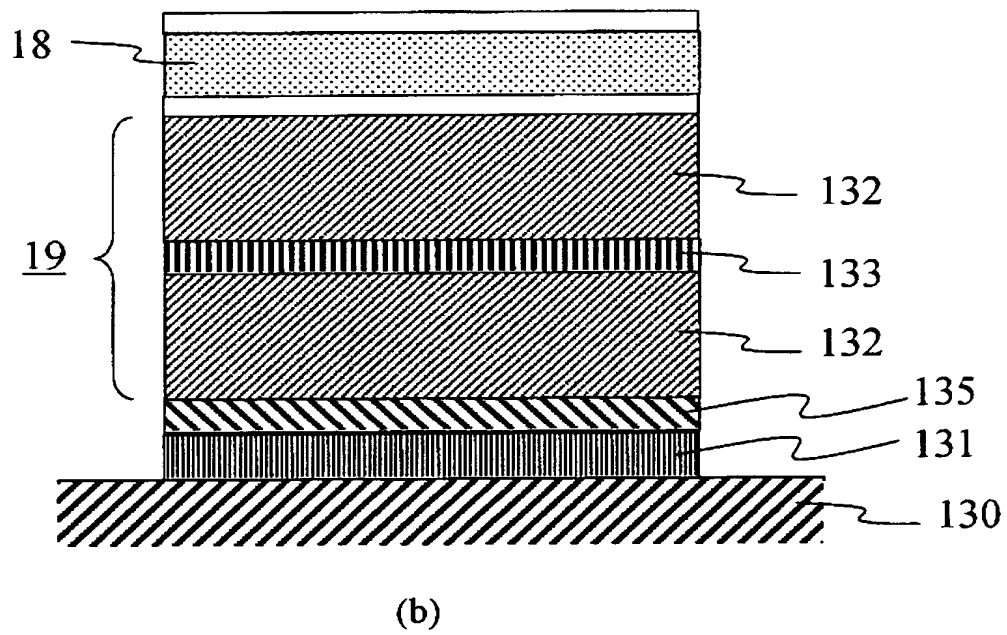
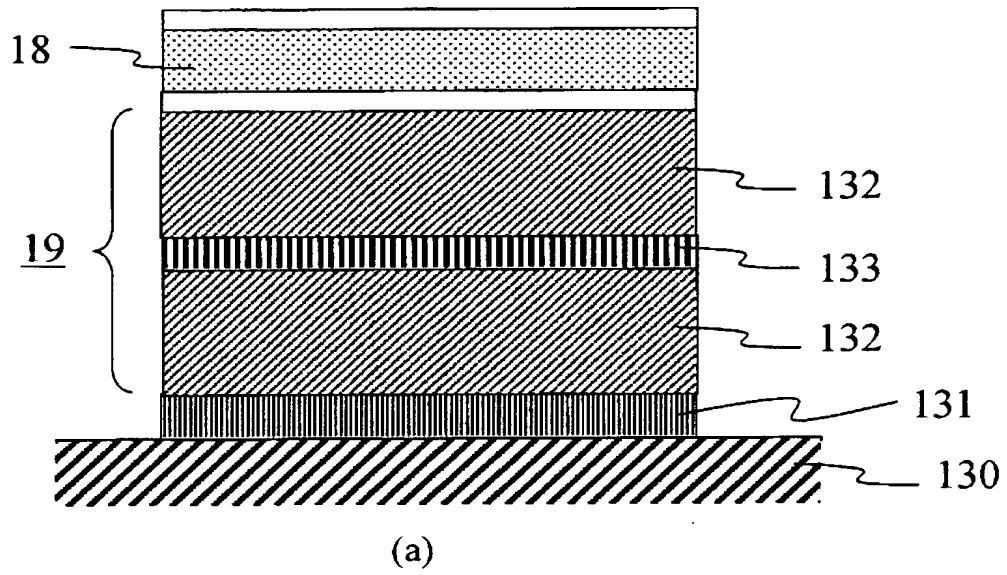
【図 13】

図13



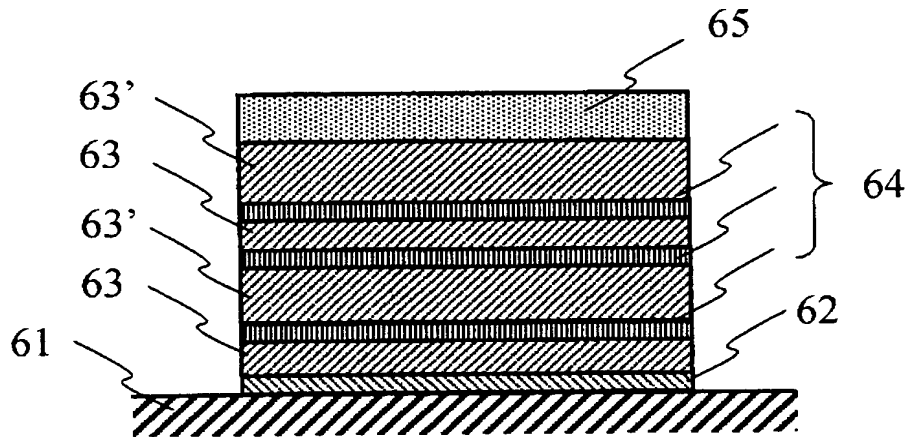
【図 14】

図 14



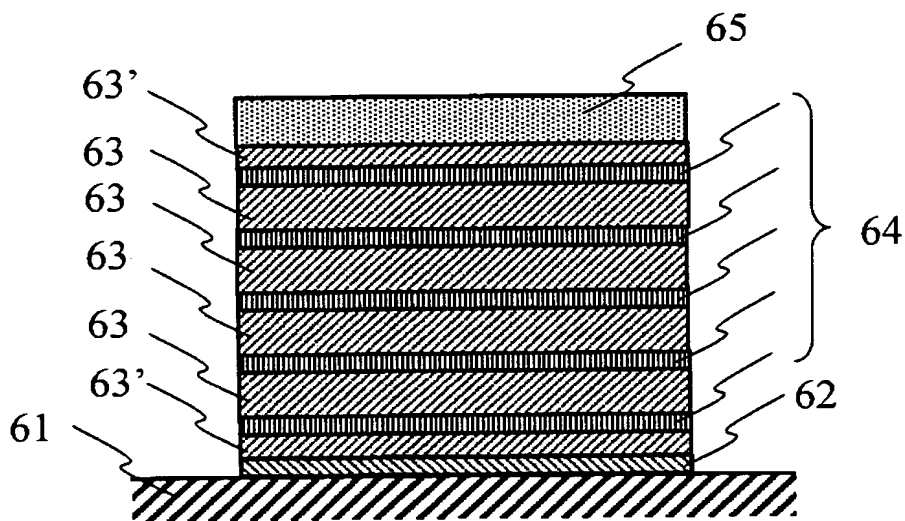
【図 15】

図 15



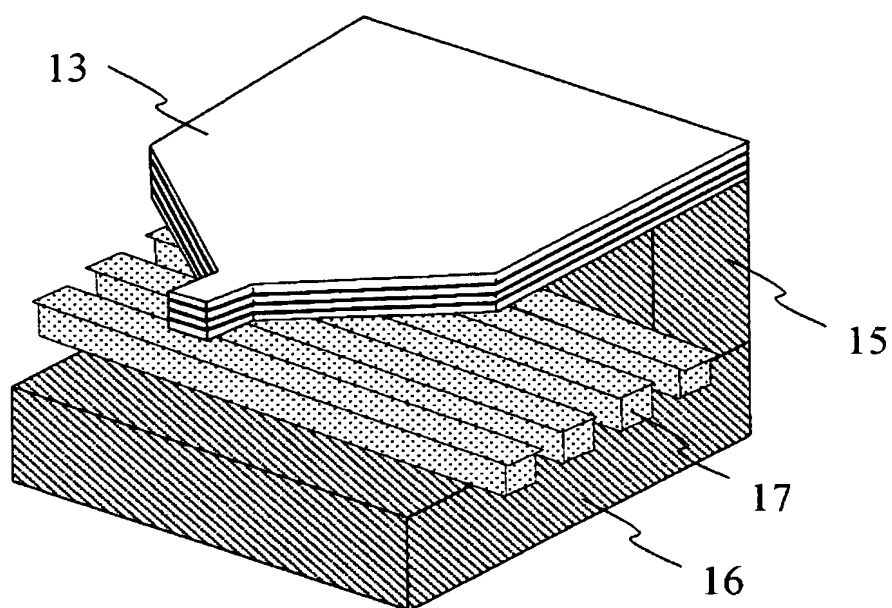
【図 16】

図 16



【図17】

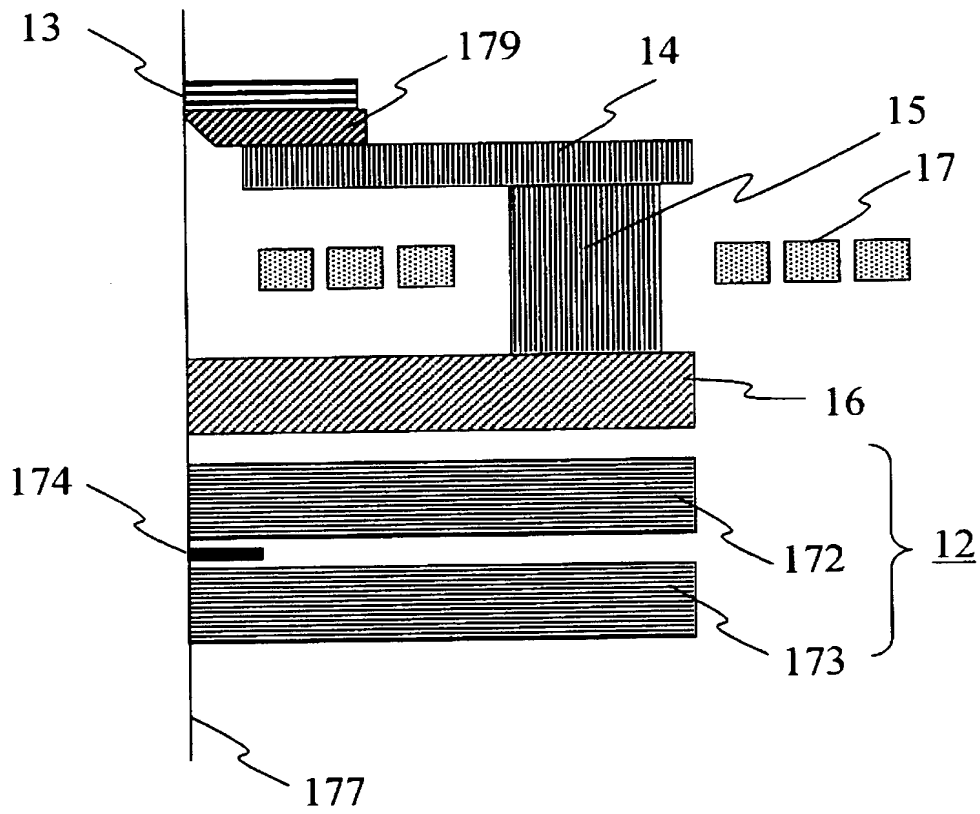
図17





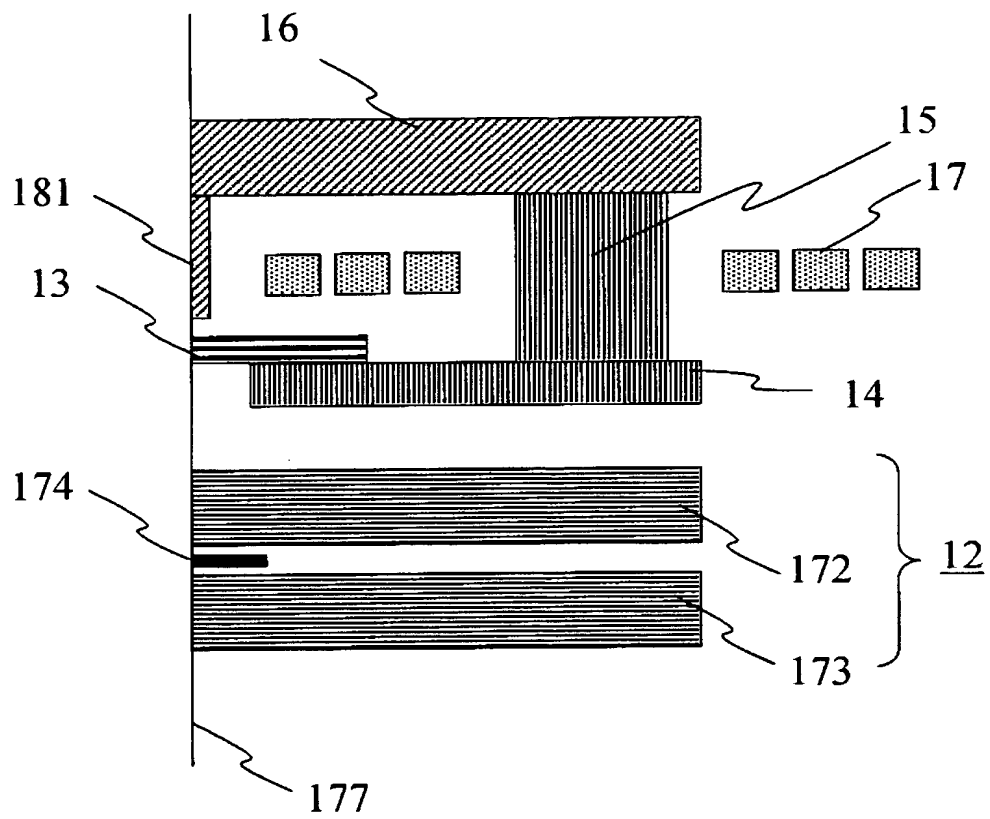
【図 18】

図18



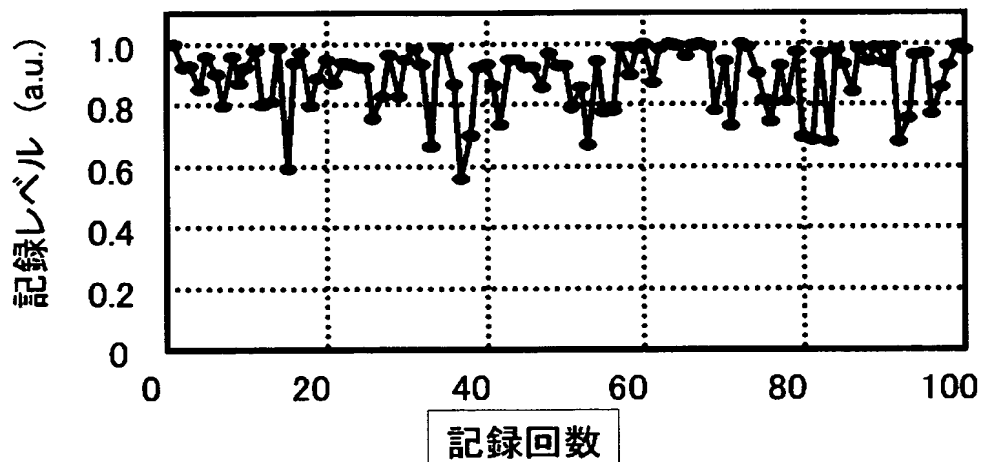
【図 19】

図19

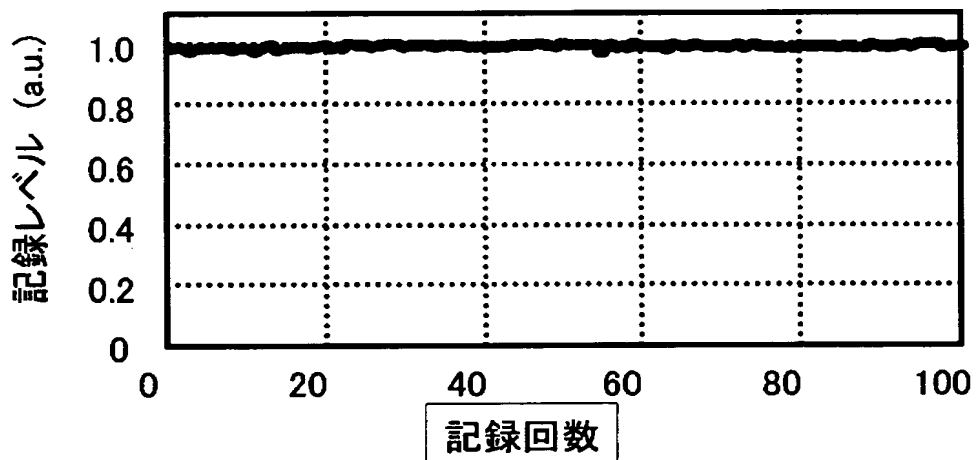


【図 20】

図20



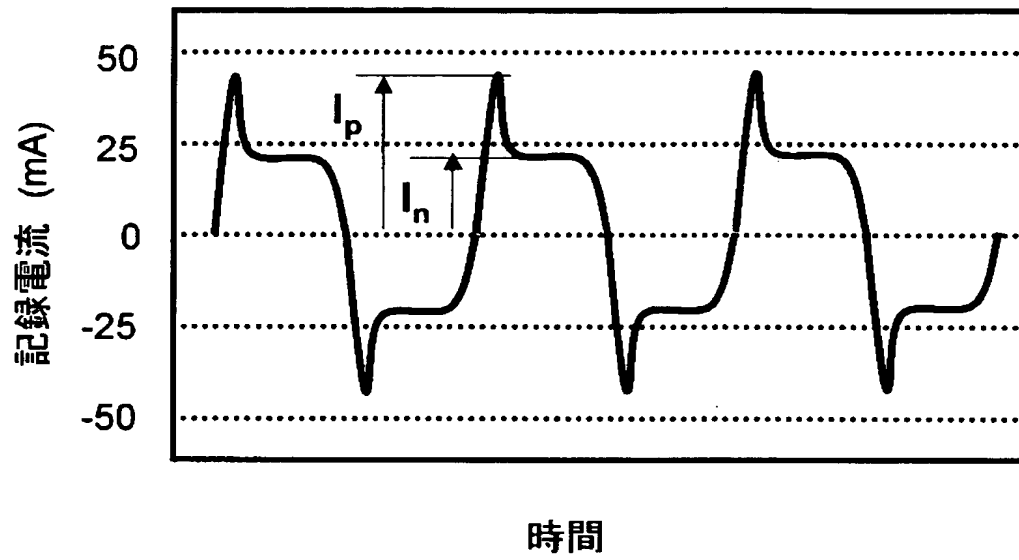
(a) オーバーシュートが130 %の場合



(b) オーバーシュートが70 %の場合

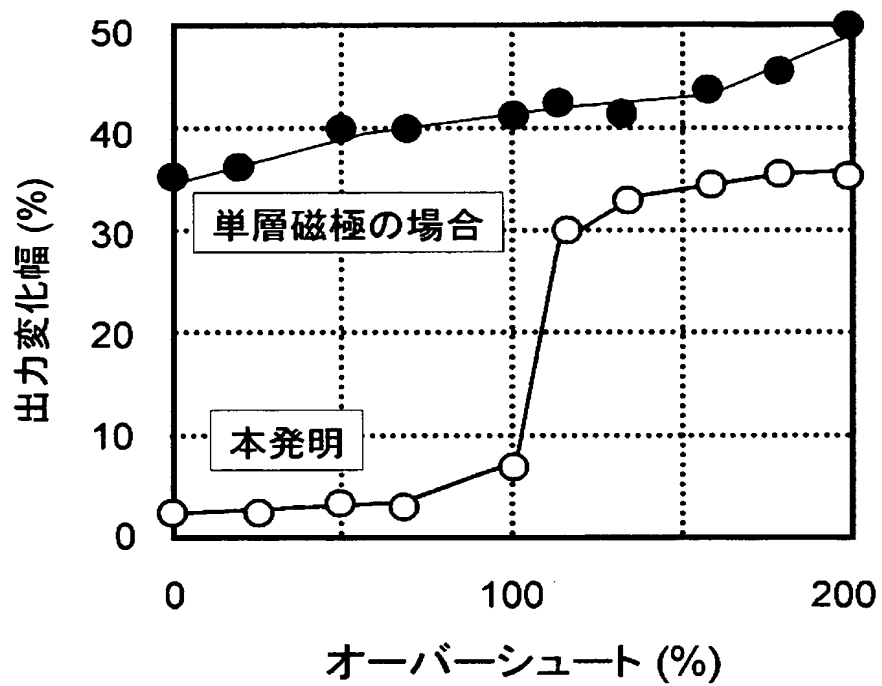
【図 21】

図21



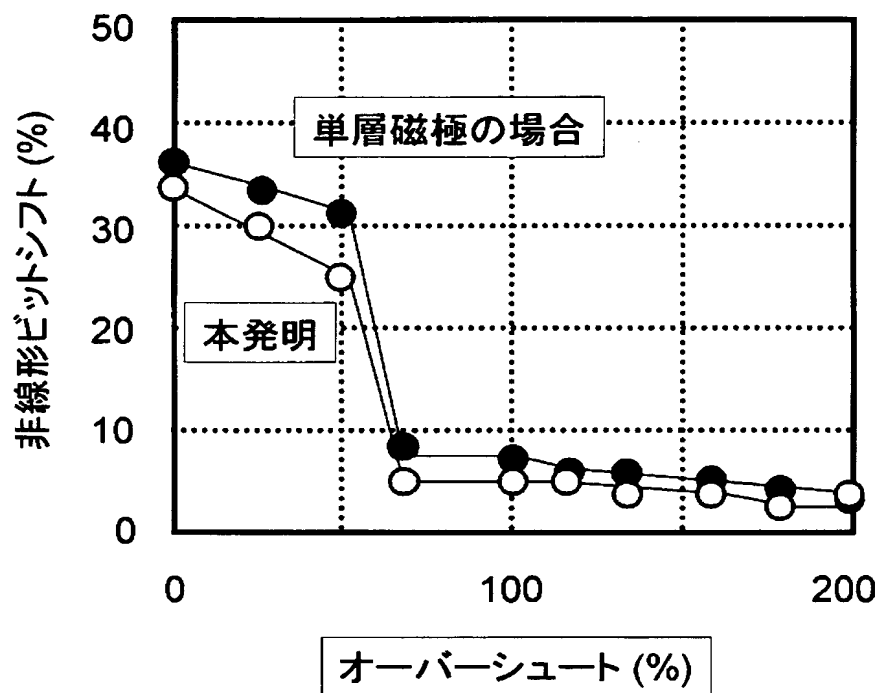
【図 22】

図22



【図 23】

図23



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】  $100\text{Gb/in}^2$  を超える高い記録密度に対応する狭い主磁極を有しながら  $10\text{kOe}$  を超える高い記録磁界を発生することが可能で、なおかつ記録動作直後の残留磁界発生を抑制されるよう改良された垂直記録用薄膜磁気ヘッド提供する。

【解決手段】 主磁極と前記主磁極に磁束を供給するためのリターンパスと前記主磁極及び前記リターンパスを励磁するための導体コイルとを備え、前記主磁極の磁極幅は  $200\text{nm}$  以下であり、前記主磁極は、高飽和磁束密度層と低飽和磁束密度層との磁性多層膜を有し、低飽和磁束密度層の厚みを  $0.5\text{nm}$  以上、 $5\text{nm}$  以下の範囲とし、高飽和磁束密度層の厚さを  $10\text{nm}$  以上  $50\text{nm}$  以下とすることにより、磁極が還流磁区構造をとって残留磁化が抑制され、記録後消去が防止される。

【選択図】 図 6

## 認定・付加情報

|         |                |
|---------|----------------|
| 特許出願の番号 | 特願 2003-196859 |
| 受付番号    | 50301168673    |
| 書類名     | 特許願            |
| 担当官     | 第八担当上席 0097    |
| 作成日     | 平成15年 7月18日    |

## &lt;認定情報・付加情報&gt;

|       |             |
|-------|-------------|
| 【提出日】 | 平成15年 7月15日 |
|-------|-------------|



特願 2 0 0 3 - 1 9 6 8 5 9

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [ 0 0 0 0 0 5 1 0 8 ]

|          |                        |
|----------|------------------------|
| 1. 変更年月日 | 1 9 9 0 年 8 月 3 1 日    |
| [変更理由]   | 新規登録                   |
| 住 所      | 東京都千代田区神田駿河台 4 丁目 6 番地 |
| 氏 名      | 株式会社日立製作所              |